



SKRIPSI – ME 141501

**ANALISA PENGARUH JADWAL OPERASI DAN
JADWAL PERAWATAN ALUMINIUM CREW BOAT
CB. X TERHADAP KEGAGALAN FUNGSI *BOW
THRUSTER* DENGAN PEMODELAN DINAMIKA
SISTEM (*SYSTEM DYNAMICS*)**

LINTANG MAHARANI
NRP. 4213 106 007

Dosen Pembimbing :

1. AA.B. Dinariyana Dwi P.,ST.,MES.,Ph.D
2. Dr. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc.

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT – ME 141501

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF CREW BOAT X
OPERATION AND MAINTENANCE SCHEDULES TO
THE FAILURE OF *BOW THRUSTER* USING SYSTEM
DYNAMICS**

LINTANG MAHARANI
NRP. 4213 106 007

Dosen Pembimbing :

3. AA.B. Dinariyana Dwi P.,ST.,MES.,Ph.D
4. Dr. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc.

Department of Marine Engineering
Faculty of Marine Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH JADWAL OPERASI DAN JADWAL PERAWATAN ALUMINIUM CREW BOAT CB. X TERHADAP KEGAGALAN FUNGSI BOW THRUSTER DENGAN PEMODELAN DINAMIKA SISTEM (*SYSTEM DYNAMICS*)

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik pada
Bidang Studi Marine Reliability, Availability, Maintainability and
Safety (RAMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
LINTANG MAHARANI
NRP 4213 106 007

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi :

1. AAB. Dinariyana Dwi P.,ST.,MES.,Ph.D

()

2. Dr. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc.

()

SURABAYA
JANUARI, 2016

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH JADWAL OPERASI DAN JADWAL PERAWATAN ALUMINIUM CREW BOAT CB. X TERHADAP KEGAGALAN FUNGSI BOW THRUSTER DENGAN PEMODELAN DINAMIKA SISTEM (*SYSTEM DYNAMICS*)

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik pada
Bidang Studi Marine Reliability, Availability, Maintainability and
Safety (RAMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
LINTANG MAHARANI
NRP 4213 106 007

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan:

Dr.Eng. M. Badrus Zaman,S.T.,M.T.



**SURABAYA
JANUARI, 2016**

ANALISA PENGARUH JADWAL OPERASI DAN JADWAL PERAWATAN ALUMINIUM CREW BOAT CB. X TERHADAP KEGAGALAN FUNGSI *BOW THRUSTER* DENGAN PEMODELAN DINAMIKA SISTEM (*SYSTEM DYNAMICS*)

Nama : Lintang Maharani
NRP : 4213 106 007
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK - ITS
Pembimbing : 1. AA.B. Dinariyana Dwi P.,ST.,MES.,Ph.D
 2. Dr. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Kegiatan operasional sistem *bow thruster* pada kapal mengakibatkan peluang kegagalan semakin besar. Perawatan sistem *bow thruster* pada kapal CB. X milik PT. Orela Bahari sangat penting kaitannya dengan manuver kapal tersebut pada saat dioperasikan. Tindakan perbaikan dan perawatan hanya dapat dilakukan pada saat kapal tidak berlayar. Untuk itu perlu ditentukan komponen – komponen apa saja yang menyebabkan *bow thruster* tidak beroperasi sehingga menyebabkan *downtime* dan bagaimana penjadwalan perawatan dengan biaya optimum. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* menunjukkan penyebab kegagalan adalah kerusakan pada komponen pompa *power take off*, *bow thruster*, *solenoid valve*, *joystick*, *hydraulic heat exchanger*, dan *central cooler*. Dengan pola operasi kapal saat ini serta data keandalan komponen, dibuat simulasi menggunakan dinamika sistem untuk membuat pendekatan agar perawatan pencegahan maupun perbaikan yang dilakukan menghasilkan biaya seminimal mungkin. Studi ini menghasilkan rekomendasi perawatan sistem *bow thruster* selama 5 tahun antara lain : interval perawatan pompa *power take off* setiap 2572 jam dengan biaya Rp 73.701.852,00; *hydraulic heat exchanger* setiap 27937 jam dengan biaya perawatan Rp 1.535.000,00; *central cooler* setiap 30946 jam dengan biaya perawatan Rp

2.975.000,00; *joystick* setiap 29711 jam dengan biaya perawatan Rp 4.005.376,00; *solenoid valve* tiap 8370 jam dengan biaya perawatan Rp 3.283.854,00; dan *bow thruster* setiap 5709 jam dengan biaya Rp 39.500.000,00 Total biaya perawatan sistem ini selama 5 tahun sebesar Rp. 125.001.082,00.

Kata Kunci : *bow thruster*, dinamika sistem, FMEA, perawatan

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF CREW BOAT X
OPERATION AND MAINTENANCE SCHEDULES TO THE
FAILURE OF BOW THRUSTER USING SYSTEM
DYNAMICS**

Name : *Lintang Maharani*
NRP : *4213 106 007*
Department : *Marine Engineering FTK - ITS*
Supervisor : *1. AA.B. Dinariyana Dwi P.,ST.,MES.,Ph.D*
 2. Dr. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Operational activity on bow thruster system on crew boat cause increasing of failure probability. Bow thruster maintenance on CB. X owned by PT. Orela Bahari is essential in relation with her maneuverability while operated. Repair and maintenance can be held only if the vessel does not operated. In relation with this condition, components in this system has to be identified to determine which components are possible to be cause of system failure and downtime and how to plan optimum maintenance cost. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) indicates cause of failure are damage toward components power take off, bow thruster, solenoid valve, joystick, hydraulic heat exchanger, and central cooler. Based on current ship operation schedule and reliability data, a simulation made by using system dynamics approach in order to make preventive maintenance and repair interval with minimum cost. This study resulted maintenance recommendation regarding bow thruster system in CB. X for 5 years such as : maintenance interval in power take off (PTO) pump every 2572 hour at total cost IDR 73,701,852.00; hydraulic heat exchanger every 27937 hours at total cost IDR 1.535.000.00 ; central cooler every 30946 hours at total cost IDR 2,975,000.00; joystick every 29711 hours at total cost IDR 4,005,376.00; solenoid valve every 8370 hours recommended to

be replaced and the total cost is IDR 3,283,854.00; bow thruster every 5709 hours at a cost of IDR 39,500,000. Total cost of this system maintenance for 5 years is IDR 125,001,082.00.

Keyword : bow thruster, FMEA, system dynamics, maintenance

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, rasa syukur senantiasa kami panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberi petunjuk, pertolongan, kemudahan, dan kekuatan sehingga Tugas Akhir yang berjudul **“Analisa Pengaruh Jadwal Operasi dan Jadwal Perawatan Aluminium Crew Boat CB. X terhadap Kegagalan Fungsi Bow Thruster dengan Pemodelan Dinamika Sistem (System Dynamics)”** dapat selesai dengan baik.

Tugas Akhir ini dibuat sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan bidang studi RAMS (*Marine Reliability, Availability, Maintainability and Safety*).

Penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan banyak pihak. Untuk itu, perkenankan kami sebagai penulis untuk menyampaikan terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Bapak AA.B. Dinariyana Dwi P.,ST.,MES.,Ph.D
 2. Dr. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc.
- Selaku Dosen Pembimbing atas segala arahan, bimbingan dukungan, waktu, kesabaran, dan ilmu yang diberikan.

Kemudian, tak lupa kami sampaikan terima kasih teriring doa kepada :

1. Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Dr. Badrus Zaman,ST.,MT.
2. Dosen Jurusan Teknik Sistem Perkapalan atas ilmu yang diberikan, khususnya di Laboratorium RAMS yang selalu memantau kemajuan pengerjaan Tugas Akhir ini,
3. Tisnanto Adisatyo Widcaksono, atas dukungan moral dan materiil. Terimakasih untuk doa yang tulus, semangat, dukungan, waktu, dan perhatian yang selalu selalu diberikan dimanapun berada. *Love you to the moon and back*,

4. Kedua orang tua dan saudara-saudara penulis atas didikan yang diberikan dari kecil hingga dewasa, untuk menjadi pribadi yang pantang menyerah dan mandiri, juga bapak dan ibu di Gresik yang telah penulis anggap sebagai orang tua sendiri
5. Diyan Maharani, adik yang lucu dan selalu memberi semangat pada penulis di kala lelah
6. Hayi Widarto, atas bantuannya mengajari pembuatan model *system dynamics*
7. Teman – teman seangkatan Siskal, terutama Dimas, Cawal, Om Usman, Riskha, Firman, Fajar, Om Ojan, Aang, Boy, Adhit, Tiar, Sule, Om Agus, Julun, Denny
8. Sahabat Bismarck dan Amphibilicious yang ada di Laboratorium RAMS, Captain Adi, Emmy, Uciks, Putri, dan pejuang skripsi RAMS Ilham, Rheza, Natya, dan Gigih
9. Bapak Albert Benhard selaku Dirut PT. Orela Bahari, Bapak Arfandi selaku Operation Manager, Hardianti selaku HSE Officer yang telah memberikan data yang penulis butuhkan dalam penyelesaian skripsi ini
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu

Semoga seluruh kebaikan mereka dibalas oleh Allah SWT lebih dari apa yang mereka berikan. Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi pembaca. Penulis menyadari Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis berharap penulisan berikutnya memberikan pengembangan yang lebih baik.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Penelitian	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. <i>Bow thruster</i>	5
2.2. Cara Kerja <i>Bow thruster</i>	6
2.3. <i>Aluminium Crew boat</i>	8
2.4. Model Distribusi Dalam Evaluasi Reliability	9
2.4.1. Distribusi Eksponensial	9
2.4.2. Distribusi Weibull	10
2.5. Metode Penentuan Distribusi	10
2.6. Pertimbangan Perawatan	11
2.7. Perhitungan <i>Availability</i>	13
2.9. Penggunaan Metode FMEA dan RPN	15
2.10. Dinamika Sistem	17
2.11. Hubungan Sebab Akibat	19
2.12. Tujuan System Dynamic Modelling	19
2.13. Penelitian dengan Penyelesaian Dinamika Sistem (<i>Dynamics Modelling</i>)	20
2.14. Cara Kerja Dinamika Sistem	22

2.15.	<i>Building Block</i> Dinamika Sistem pada Powersim Studio 2005	23
BAB III METODE PENULISAN		25
3.1.	Diagram Penelitian	25
3.2.	Perumusan Masalah	25
3.3.	Studi Literatur	25
3.4.	Pengumpulan Data	27
3.5.	Analisa FMEA	27
3.5.1.	Pemilihan Sistem dan Pengumpulan Informasi	27
3.5.2.	Definisi dan Ruang Lingkup Sistem	28
3.5.3.	System Functional Block Diagram	28
3.5.4.	FMEA Analysis	28
3.6.	Penyusunan Model <i>System Dynamics</i>	29
3.7.	Perhitungan Biaya Perawatan	30
3.8.	Penjadwalan Perawatan	30
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		31
4.1.	Ship Overview dan Pola Pelayaran	31
4.2.	Analisa Moda Kegagalan Menggunakan FMEA	32
4.2.1.	Pemilihan Sistem dan Pengumpulan Data	32
4.2.2.	Ruang Lingkup Laporan	35
4.2.3.	Deskripsi Sistem dan Functional Block Diagram	42
4.2.4.	Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Sistem <i>Bow Thruster</i>	48
4.3.	Distribusi Keandalan Komponen	56
4.3.1.	Analisa Keandalan Komponen	58
4.3.2.	Penjadwalan Perawatan Kapal Sebelumnya	60
4.4.	System Dynamics	61
4.4.1.	Pembuatan Model	63
4.4.2.	Pola Perawatan Komponen <i>Power take off</i>	65
4.4.3.	Pola Perawatan Komponen <i>Hydraulic heat exchanger</i> ..	71
4.4.4.	Pola Perawatan <i>Central cooler</i>	75
4.4.5.	Pola Perawatan <i>Joystick</i>	79
4.4.6.	Pola Perawatan <i>Solenoid valve</i>	83
4.4.7.	Pola Perawatan <i>Bow Thruster</i>	86
4.4.8.	Ringkasan Biaya Perawatan	89

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	91
5.1. Kesimpulan.....	91
5.2. Saran	91
DAFTAR PUSTAKA.....	93
LAMPIRAN	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	<i>Bow thruster</i> dengan Motor Hidrolik.....	5
Gambar 2.2.	Komponen pada Sistem <i>Bow thruster</i>	6
Gambar 2.3.	Sistem <i>bow thruster</i> hidrolik	7
Gambar 2.4.	Sistem control <i>bow thruster</i> hidrolik	8
Gambar 2.5.	Kapal Aluminium <i>Crew boat</i>	9
Gambar 2.6.	Relex Software	11
Gambar 2.7.	Klasifikasi tipe perawatan	12
Gambar 2.8.	Kebijakan perawatan pencegahan	14
Gambar 2.9.	Hubungan keandalan menggunakan <i>software</i> Powersim 2005.....	23
Gambar 3.1	Flowchart pengerjaan skripsi	26
Gambar 3.2	Form FMEA berdasarkan Military Standard 1629-A	29
Gambar 4.1	Rencana umum kapal yang akan dianalisa	31
Gambar 4.2.	Layout pipa hidrolik kapal.....	31
Gambar 4.3.	Ruang lingkup pembahasan	35
Gambar 4.4.	sistem <i>thruster</i> hidrolik	39
Gambar 4.5.	Sistem control <i>bow thruster</i> dengan <i>solenoid</i> <i>valve</i>	40
Gambar 4.6.	Sistem Pendingin Kapal CB. X.....	41
Gambar 4.7.	Diagram deskripsi sistem	42
Gambar 4.8.	IN/OUT Interface	44
Gambar 4.9.	SWBS pada <i>bow thruster</i> system.....	46
Gambar 4.10	Laju Kegagalan dalam OREDA 2002.....	57
Gambar 4.11.	Diagram blok sistem <i>bow thruster</i>	58
Gambar 4.12.	<i>Causal Loop Diagram</i> Hubungan Waktu Operasi Kapal dengan Biaya Perawatan.....	62
Gambar 4.13.	<i>Causal Loop Diagram</i> Komponen Biaya.....	63
Gambar 4.14.	Model jadwal pelayaran kapal dan pengoperasian <i>bow thruster</i>	63
Gambar 4.15.	Model pola operasi dan perawatan pada <i>gear</i> <i>pump</i>	66

Gambar 4.16. Grafik interval perawatan komponen PTO <i>Gear pump</i> dengan $\lambda_{PTO} = 000269$	67
Gambar 4.17. Model perhitungan pola perawatan <i>power take off</i> (PTO <i>gear pump</i>)	68
Gambar 4.18. Grafik biaya perawatan untuk operasi PTO <i>gear pump</i> pada interval waktu yang beebeda	68
Gambar 4.19. Komponen biaya <i>hydraulic heat exchanger</i>	71
Gambar 4.20. Grafik keadaan terhadap waktu selama 10 tahun pada komponen <i>heat exchanger</i>	72
Gambar 4.21. Grafik hubungan antara interval dengan biaya perawatan pada <i>hydraulic heat exchanger</i> selama sepuluh tahun	73
Gambar 4.22. Pola biaya perawatan pada <i>central cooler</i>	76
Gambar 4.23. Grafik hubungan antara interval dengan biaya perawatan pada <i>central cooler</i> selama sepuluh tahun	77
Gambar 4.24. Pola biaya perawatan <i>joystick</i>	79
Gambar 4.25 Grafik hubungan antara interval dengan biaya perawatan pada <i>joystick</i> selama 20 tahun	81
Gambar 4.26. Grafik laju keandalan <i>solenoid valve</i> selama 20 tahun	83
Gambar 4.27. Simulasi biaya perawatan <i>solenoid valve</i>	84
Gambar 4.27. Grafik laju keandalan <i>solenoid valve</i> selama 20 tahun	85
Gambar 4.28. Hubungan interval perawatan dengan biaya pada <i>bow thruster</i>	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Severity</i> dari dampak kegagalan	16
Tabel 2.2	<i>Occurrence</i> terjadinya kegagalan	17
Tabel 2.3	Nilai deteksi terjadinya kegagalan	17
Tabel 4.1.	Ringkasan detail peralatan pada <i>bow thruster</i>	33
Tabel 4.2.	Tabel fungsi dan kegagalan fungsional sistem ...	46
Tabel 4.3.	Matrik kegagalan fungsional komponen <i>bow thruster system</i>	49
Tabel 4.4.	Matrik kegagalan fungsional komponen <i>bow thruster system</i> (Lanjutan)	50
Tabel 4.5	Daftar Moda Kegagalan – OREDA 2002	51
Tabel 4.6.	Nilai RPN.....	53
Tabel 4.7.	Daftar Komponen yang Dianalisa.....	54
Tabel 4.8.	Moda kegagalan yang mempengaruhi kinerja sistem <i>bow thruster</i>	55
Tabel 4.9.	<i>Failure rate</i> pada <i>Power take off</i>	59
Tabel 4.10.	<i>Failure rate</i> pada <i>hydraulic heat exchanger</i>	59
Tabel 4.11.	<i>Failure rate</i> pada <i>cooling system</i>	60
Tabel 4.12.	<i>Failure rate</i> pada <i>joystick</i>	60
Tabel 4.13.	<i>Failure rate</i> pada <i>solenoid valve</i>	60
Tabel 4.14.	<i>Failure rate</i> pada <i>bow thruster</i>	60
Tabel 4.15.	Jadwal survey tahunan	61
Tabel 4.16.	Daftar biaya perawatan periodik (<i>preventive maintenance</i>).....	64
Tabel 4.17.	Daftar paket perawatan korektif	65
Tabel 4.18.	Perbandingan biaya perawatan dan perbaikan komponen PTO <i>gear pump</i>	69
Tabel 4.19.	Penjadwalan perawatan PTO pump selama 5 tahun	70
Tabel 4.20.	Rincian perawatan <i>power take off</i>	71
Tabel 4.15.	Penjadwalan Perawatan	59
Tabel 4.21.	Tabel prediksi perbaikan <i>hydraulic heat exchanger</i>	74

Tabel 4.22.	Tabel rincian perbaikan <i>hydraulic heat exchanger</i>	75
Tabel 4.23.	Tabel perawatan rutin tahunan <i>hydraulic heat exchanger</i> selama lima tahun	75
Tabel 4.24.	Tabel jadwal perawatan <i>central cooler</i>	78
Tabel 4.25.	Tabel rincian perbaikan <i>central cooler</i>	78
Tabel 4.26.	Tabel perawatan rutin tahunan <i>central cooler</i> selama lima tahun	79
Tabel 4.27.	Tabel jadwal perawatan <i>joystick</i> untuk waktu operasi lima tahun	82
Tabel 4.28.	Rekomendasi perawatan dan perbaikan <i>joystick</i> .	82
Tabel 4.29.	Rekomendasi perawatan tahunan <i>joystick</i>	83
Tabel 4.30.	Tabel penggantian <i>solenoid valve</i>	85
Tabel 4.31.	Rekomendasi perawatan <i>bow thruster</i>	87
Tabel 4.33.	Rekomendasi perawatan korektif pada <i>bow thruster</i>	88
Tabel 4.34.	Ringkasan biaya perawatan sistem setelah lima tahun.....	89

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT. Orela Bahari merupakan perusahaan pelayaran Indonesia yang berdiri pada tahun 2012. PT. Orela Bahari mempunyai beberapa armada kapal berupa kapal LCT (*Landing Craft Tank*) dan *crew boat* (kapal pengangkut crew) di wilayah operasi produksi migas lepas pantai. Salah satu kapal PT. Orela Bahari yang menjadi objek dalam proposal ini adalah *crew boat* CB. X.

Kapal aluminium *crew boat* CB. X adalah *crew boat* berukuran 36 m, daya mesin 3 x 1400 HP dan memiliki kapasitas 80 penumpang + 11 ABK. Kapal ini dibuat di galangan PT. Orela Shipyards yang berlokasi di Gresik untuk PT. Orela Bahari pada tahun 2012. Dalam pembangunannya dan untuk memenuhi persyaratan *flagstate* dan *portstate*, kapal diregistrasikan pada Biro Klasifikasi Indonesia dan Bureau Veritas (BV).

Pada tahun 2012, kapal tersebut mulai dioperasikan di salah satu wilayah industri hulu migas di daerah Madura Barat sebagai kapal pengangkut pekerja lepas pantai maupun untuk patroli di wilayah tersebut. Dengan memperhatikan proses pembangunan dan fungsinya, kapal ini dituntut memiliki kesempurnaan desain, kelengkapan peralatan, dan kemampuan menjalankan fungsinya tanpa gagal. Dengan memperhatikan wilayah operasinya, guna menunjang *maneuverability*, kapal dilengkapi dengan *bow thruster*.

Bow thruster kapal terletak di bagian depan kapal (*forepart*) dan dilengkapi sistem yang terpisah dari propulsi utama kapal. Agar dapat bergerak, suatu *bow thruster* dilengkapi dengan sistem *power take off* (PTO) sebagai sumber tenaga,

sistem propulsi sebagai sistem putaran baling – baling *bow thruster*, dan sistem pengendali komponen – komponen dalam sistem tersebut memiliki fungsi yang penting dalam menunjang performa dari *bow thruster*.

Dengan *bow thruster* yang dapat berfungsi dengan baik, diharapkan kapal memiliki *maneuverability* yang baik, sehingga dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. Dengan begitu pentingnya peran dan fungsi dari masing – masing komponen, maka diperlukan manajemen perawatan yang baik agar sistem memiliki uptime yang baik.

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh prosedur pengoperasian kapal dimana crewboat yang hendak menurunkan penumpang atau sandar di sisi platform tidak boleh secara langsung bersentuhan dengan platform bangunan lepas pantai karena akan mengganggu stabilitas instrument yang ada di platform tersebut.

Dalam kaitannya dengan hal ini, diperlukan jadwal operasi kapal dan jadwal perawatan yang tepat guna mencegah kegagalan yang mengakibatkan tidak beroperasinya kapal. Namun, jadwal operasi kapal sangat bergantung pada jadwal yang telah ditentukan oleh penyewa. Sehingga, yang bisa dilakukan adalah menyusun jadwal perawatan (*maintenance schedule*) yang tepat agar tidak terjadi *downtime*. Dalam hal ini *downtime* karena *maintenance* pada sistem *bow thruster*. Untuk menilai keandalan sistem dan komponen *bow thruster*, harus diketahui karakteristik dari sistem *bow thruster* tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasar uraian di latar belakang permasalahan sebelumnya disampaikan beberapa hipotesa yang diangkat dalam Perumusan Masalah antara lain:

1. Bagaimana menentukan mode kegagalan pada *bow thruster*

2. Bagaimana menentukan jadwal dan strategi perawatan yang dapat meningkatkan ketersediaan *bow thruster*
3. Bagaimana model dinamika sistem dapat menganalisa ketersediaan sistem *bow thruster*
4. Bagaimana perencanaan pembiayaan perawatan *bow thruster* yang optimal

1.3. Batasan Penelitian

Batasan masalah skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Desain awal kapal, dari *basic design*, *approval design*, dan *production design* dianggap tidak berpengaruh terhadap kegagalan kapal
2. Analisa hanya dilakukan terhadap kegagalan *bow thruster* dalam kaitannya dengan jadwal operasional kapal dan jadwal perawatan rutin.
3. Data yang digunakan dalam analisa ini berupa perawatan pada komponen yang sering mengalami kegagalan. Data primer didapatkan dari data kegagalan komponen *bow thruster* dalam kapal CB. X. Apabila data primer tidak dapat cukup untuk diuji distribusi, maka kekritisian komponen dapat dicari berdasarkan data sekunder dari bank data seperti OREDA dan NPRD.
4. Pembahasan penjadwalan perawatan dalam skripsi ini meliputi kesatuan sistem *bow thruster* yang dibagi menjadi beberapa sub-sistem meliputi PTO (*power take off*), sub-sistem hidraulik, sub-sistem control, dan pendingin.

1.4. Tujuan Penelitian

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk :

1. Menentukan mode kegagalan yang mempengaruhi kinerja *bow thruster* kapal CB. X dengan FMEA dan RPN
2. Menentukan interval perawatan dan hubungannya dengan nilai keandalan komponen

3. Menentukan jadwal perawatan dengan mempertimbangkan pola pelayaran dan perawatan kapal dan pola operasi sistem *bow thruster* dengan dinamika sistem (*system dynamics*)
4. Menghitung biaya perawatan yang paling rendah mengacu pada keandalan komponen, dan pola operasi kapal.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Secara teknis bagi perusahaan pemilik kapal dapat mengetahui penyebab kegagalan pada *bow thruster*
2. Dapat menentukan bagaimana penjadwalan perawatan yang baik agar kapal dapat beroperasi tanpa mengganggu jadwal kegiatan operasional kapal
3. Secara akademis, penelitian ini menunjukkan pemodelan dinamika sistem sebagai cara untuk menganalisa efek perawatan terhadap terjadinya kegagalan pada sistem di kapal, dalam hal ini *bow thruster system*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Bow thruster*

Bow thruster adalah sistem propulsi penunjang yang dipasang pada bagian depan atau haluan kapal untuk meningkatkan kemampuannya melakukan maneuver (*maneuverability*). *Maneuverability* sangat penting bagi *crew boat* untuk mempermudah proses sandar di pelabuhan dan di bangunan lepas pantai untuk mencegah terjadinya tubrukan. *Bow thruster* juga sangat penting untuk kegiatan patroli.



Gambar 2.1. *Bow thruster* dengan Motor Hidrolik

(Sumber : http://www.harbormastermarine.com/Tunnel_Bow_Thrusters.htm,
dikunjungi tahun 2015)

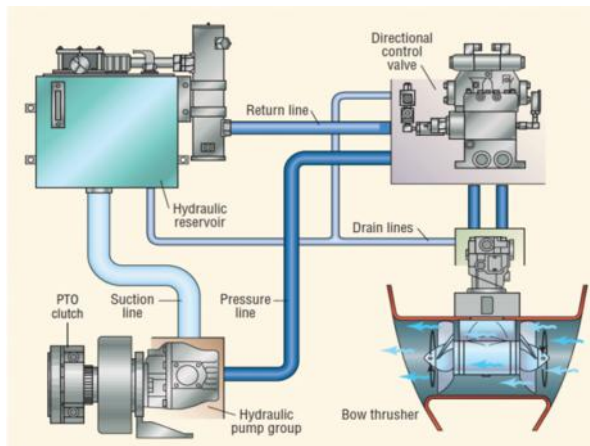
Pada dasarnya ada dua fungsi dari *bow/stern thruster*, yaitu :

1. Alat bantu *maneuvering*
Maneuvering adalah olah gerak untuk tujuan melalui lalu-lintas pelabuhan yang sempit, bersandar ke dermaga, bersandar ke kapal lain, dll.
2. Alat bantu *dynamically positioning system*
Dynamics positioning merupakan upaya untuk menjaga agar kapal dan bangunan laut lainnya bisa diam tetap di posisi

yang ditentukan. Dynamic Positioning merupakan sistem pengendalian komputer yang dapat mengatur posisi kapal secara otomatis dengan menggunakan mekanisme *propeller* dan *thruster*. Sensor posisi yang dikombinasikan dengan sensor angin dan sensor gerak memberikan informasi pada komputer yang berkaitan langsung dengan posisi kapal dan keadaan lingkungan yang mempengaruhi.

2.2. Cara Kerja *Bow thruster*

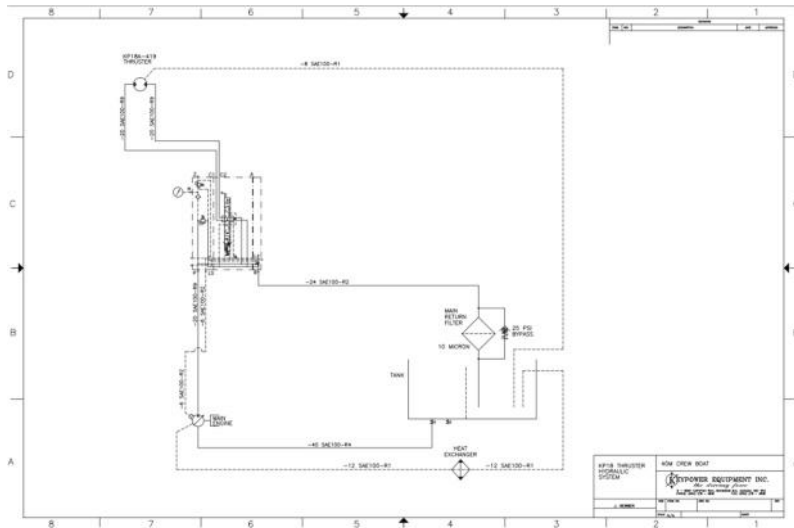
Sistem penggerak *bow thruster* ada dua, yaitu sistem hidraulik dan elektrik. Dalam skripsi ini, sistem yang digunakan adalah sistem hidraulik. Gambar 2.2. menunjukkan skema sistem *bow thruster* secara hidraulik.



Gambar 2.2. Komponen pada Sistem *Bow thruster*

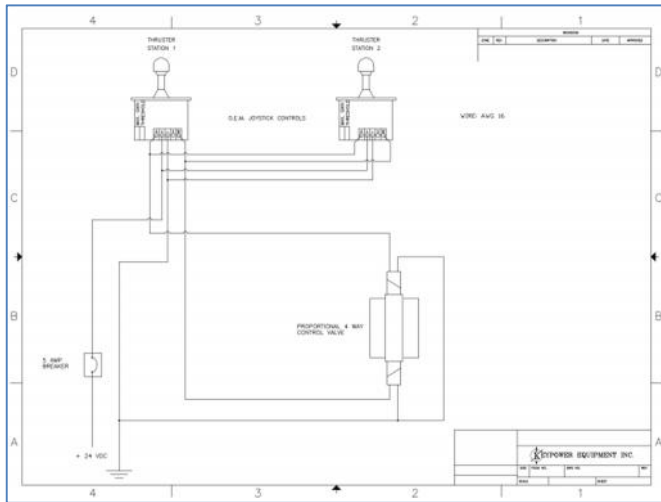
Secara garis besar sistem *bow thruster* hidraulik terdiri dari pompa hidraulik, hidraulik reservoir, *directional control valve*, dan *thruster*. Pompa hidraulik digerakkan dengan PTO (*power take off*). PTO clutch terhubung dengan *main engine*. Putaran dari *main engine* digunakan sebagai tenaga untuk

memutar pompa. Gambar 2.3. menunjukkan secara detail sistem yang akan dianalisa dalam skripsi ini.



Gambar 2.3. Sistem *bow thruster* hidrolik

Gambar di atas menunjukkan PFD jalur fluida hidrolik dari tank reservoir hingga ke *bow thruster*. *Power take off* adalah berupa pompa tipe *gear pump* yang terhubung dengan *gear box*.



Gambar 2.4. Sistem control bow thruster hidraulik

Gambar 2.4. menunjukkan sistem pengendali gerakan sistem hidraulik. Karena menggunakan sistem hidraulik, untuk mengatur gerakan menggunakan *joystick* yang dikendalikan dari *wheelhouse*.

2.3. Aluminium Crew boat

Kapal *aluminium crew boat* adalah kapal cepat yang digunakan untuk mengangkut penumpang yaitu kru dari darat ke wilayah kerjanya. Ada *crew boat* yang digunakan untuk mengangkut pekerja kilang minyak lepas pantai, ada juga *crew boat* yang digunakan untuk mengangkut penumpang dan awak kapal – kapal besar. Pembahasan skripsi ini adalah *crew boat* yang beroperasi di wilayah industri hulu migas lepas pantai. Mengingat wilayah operasinya di wilayah yang berisiko tinggi, maka *aluminium crew boat* dibuat dengan standar keselamatan yang tinggi. Meskipun berukuran cukup kecil, namun kapal tersebut dilengkapi dengan peralatan yang kompleks guna mendukung kegiatan operasi kapal.



Gambar 2.5. Kapal Aluminium *Crew boat*
(Sumber : Dokumentasi Sea Trial CB.X)

2.4. Model Distribusi Dalam Evaluasi Reliability

2.4.1. Distribusi Eksponensial

Distribusi Eksponensial merupakan distribusi yang paling banyak digunakan dalam mengevaluasi keandalan sistem. Ciri utama distribusi ini adalah laju kegagalannya yang konstan.

- a. Distribusi eksponensial satu parameter

$$f(t) = e^{-t} \quad (2.1)$$

Dimana :

= constant failure rate

t = operating time

Persamaan *Reliability* : $R(t) = e^{-t}$ (2.2)

- b. Distribusi Eksponensial Dua Parameter

Persamaan *reliability* : $R(t) = e^{-(t-t_0)}$ (2.3)

Persamaan fungsi *failure rate* :

$$f(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \quad (2.4)$$

2.4.2. Distribusi Weibull

Distribusi weibull banyak dipakai karena distribusi ini memiliki shape parameter sehingga mampu untuk memodelkan berbagai data. Jika *time to failure* suatu komponen adalah t mengikuti distribusi weibull dengan tiga parameter α , β , γ , maka persamaan fungsi densitas probabilitasnya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta}} \quad (2.5)$$

Jika nilai $\gamma = 0$ maka akan diperoleh persamaan distribusi weibull dengan dua parameter.

Persamaan *Reliability*

$$R(t) = e^{-\left[\left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta} \right]} \quad (2.6)$$

Persamaan *failure rate* :

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left[\left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta} \right]^{\beta-1} e^{-\left[\left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta} \right]} \quad (2.7)$$

2.5. Metode Penentuan Distribusi

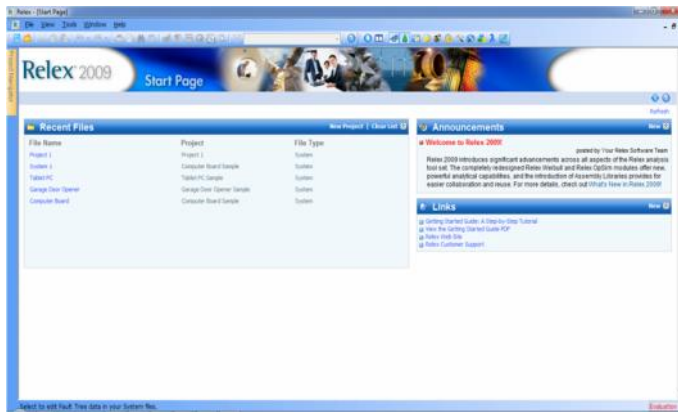
2.5.1. Maximum Likelihood Estimation (MLE)

MLE merupakan metode yang digunakan untuk mencari parameter dari distribusi tertentu. Jika ada sekumpulan data pengamatan yaitu misalnya t_1, t_2, \dots, t_n dan data tersebut merupakan *random sample* dari sebuah distribusi. Persamaan *maximum likelihood estimation* (MLE) yaitu :

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(t_i; \theta) \quad (3.8)$$

2.5.2. Regresi Linier

Metode yang dipakai untuk mengukur hubungan antara dua variabel atau lebih. Metode regresi juga dapat dipakai untuk mengukur derajat hubungan antar variabel yang bersifat korelasional atau yang dimaksud dengan sifat ketergantungan atau keterpautan.



Gambar 2.6. Relex Software

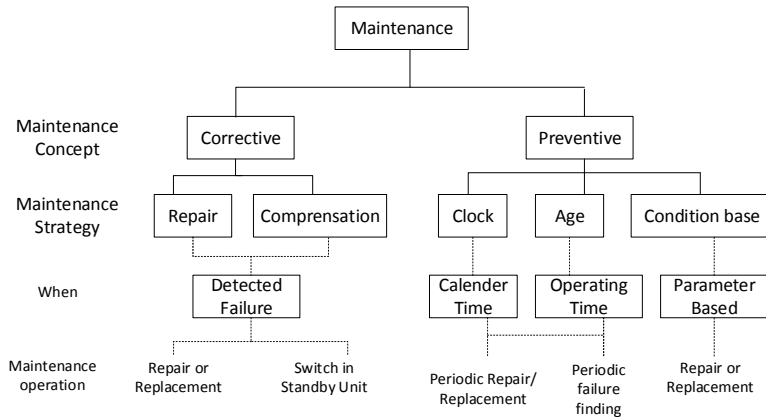
Penggunaan regresi adalah sebagai pengukur bentuk hubungan. Untuk menentukan bentuk hubungan (regresi). Diperlukan pemisahan yang tegas antara variabel bebas yang disebut simbol X dan variabel tak bebas dengan simbol Y. Pada regresi harus ada variabel yang ditentukan dan variabel yang menentukan atau kata lain ketergantungan variabel yang satu dengan variabel lainnya dan sebaliknya. Kedua variabel biasanya bersifat kausal atau mempunyai hubungan sebab akibat yaitu saling berpengaruh.

2.6. Pertimbangan Perawatan

Secara umum semua peralatan buatan manusia memiliki usia pakai yang berujung pada ketidaksediaan peralatan. Tindakan perawatan bertujuan untuk memperpanjang usia pakai suatu peralatan, menjamin ketersediaan peralatan untuk dapat digunakan serta menjamin keselamatan bagi pengguna.

Perawatan adalah kombinasi tindakan teknis, administratif, dan manajerial selama siklus hidup peralatan untuk melakukan pemeliharaan atau mengembalikan pada kondisi dimana peralatan dapat melakukan fungsinya (DIN EN

13306:2008-10). Ada beberapa jenis perawatan seperti di jelaskan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Klasifikasi tipe perawatan

(Sumber : Latif, Penjadwalan Perawatan Mesin Pendingin dengan Menggunakan Pemodelan Dinamika Sistem, 2013)

2.6.1. Perawatan Korektif (*Corrective Maintenance*)

Perawatan korektif adalah perawatan yang tidak direncanakan (tak terduga), tindakan perawatan dilakukan untuk mengembalikan kemampuan fungsional sistem/komponen. Perawatan korektif sering disebut dengan perbaikan dan dilakukan setelah sistem/komponen mengalami kegagalan. Tujuan dari perawatan korektif adalah untuk membawa sistem kembali ke keadaan berfungsi segera mungkin, baik dengan memperbaiki atau mengganti komponen yang gagal atau dengan komponen cadangan (Dhilon, 2002).

2.6.2. Perawatan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Perawatan pencegahan adalah suatu sistem perawatan yang terjadwal dan direncanakan dari suatu peralatan. Jenis perawatan ini didesain untuk meningkatkan ketersediaan peralatan serta untuk mengantisipasi segala kegiatan perawatan

yang tidak direncanakan sebelumnya. Tindakan perawatan pencegahan dikerjakan untuk menghindari suatu sistem atau peralatan dari kegagalan suatu fungsi pada saat yang tidak tepat. Efek perawatan pencegahan adalah jika semakin banyak jumlah perawatan yang dilakukan akan mengakibatkan peralatan semakin andal, akan tetapi efeknya semakin besar biaya perawatan yang dikeluarkan (Dhilon, 2002).

2.7. Perhitungan Availability

Pada konsep untuk menghitung efek perawatan diperlukan nilai ketersediaan komponen yang mengindikasikan suatu komponen dalam sistem dapat beroperasi total secara sukses dengan kegagalan kegagalan yang terjadi. Prasyarat untuk menghitung ketersediaan adalah dengan formula sebagai berikut :

$$a_{j,kj} = \frac{M_{j,kj}^f}{M_{j,kj}^f + M^r} \quad (2.9)$$

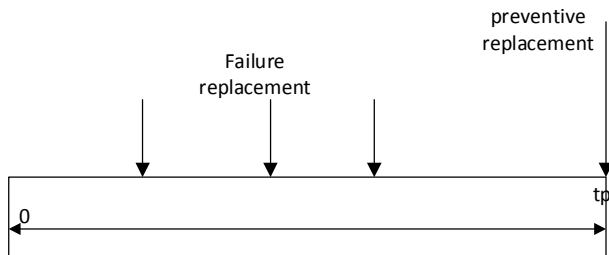
Dimana Dimana $M_{j,kj}^f$ dan M^r menunjukkan *mean time to failure* dan waktu total perbaikan komponen dalam sistem. Penilaian ketersediaan komponen akan berpengaruh terhadap penentuan *element availability* untuk menentukan jadwal perawatan.

2.8. Biaya Total Operasi

Untuk meminimalkan total biaya operasi (C_T), lebih dahulu harus dipahami mengenai komponen apa saja yang ada di dalamnya dan cara menghitungnya. Total biaya operasi mencakup *running cost* (C_r), *maintenance cost* (C_m) dan *downtime cost* (C_d). Menurut Handani (2014), total biaya operasi dapat dihitung dengan rumus dibawah ini.

$$C_T = C_r + C_m + C_d \quad (2.10)$$

Model optimasi waktu perawatan yaitu dimana interval waktu penggantian komponen dengan memperhatikan umur pemakaian dari komponen, sehingga dapat menghindari terjadinya penggantian peralatan yang masih baru dipasang dan diganti dalam waktu yang relatif singkat. Jika terjadi suatu kerusakan, model ini akan menyesuaikan kembali jadwalnya setelah penggantian komponen dilakukan, baik akibat terjadinya kerusakan maupun hanya bersifat sebagai perawatan pencegahan. Kebijakan perawatan pencegahan adalah untuk melakukan perawatan pencegahan setelah peralatan mencapai usia yang ditentukan (t_p) ditambah waktu perawatan korektif ketika diperlukan.



Gambar 2.8 Kebijakan perawatan pencegahan

(Sumber : Jardine, *Maintenance, Replacement, and Reliability*, 1973)

Untuk menghitung besarnya penggantian yang optimal dapat dilakukan dengan persamaan :

$$C_{(tp)} = \frac{\text{total expected cost in interval}}{\text{length of interval}} \quad (2.11)$$

$$C_{(tp)} = \frac{C_p + C_f H(tp)}{tp} \quad (2.12)$$

Dimana : C_p = biaya perawatan

C_f = Biaya perawatan

$H(tp)$ = jumlah kegagalan dalam satu interval (0, t_p)

2.9. Penggunaan Metode FMEA dan RPN

FMEA (*Failure Mode And Effect Analysis*) adalah Metode kualitatif dalam analisa keandalan yang banyak digunakan untuk mendukung upaya-upaya perbaikan desain, keselamatan, dukungan logistic dan fungsi –fungsi lainnya dengan mengidentifikasi modus – modus kegagalan yang mungkin terjadi pada komponen di dalam sistem serta menentukan penyebab serta efek dari munculnya modus kegagalan tersebut terhadap sistem, subsistem maupun komponen itu sendiri (Artana, 2013).

Tujuan metode FMEA ini adalah untuk :

1. Membantu memilih desain dengan tingkat keandalan dan keselamatan yang tinggi
2. Memastikan semua modus kegagalan pada komponen, sistem dan subsistem telah diprediksi dan diantisipasi
3. Untuk mengetahui potensi kegagalan dan efek yang diakibatkannya
4. Mengembangkan kriteria awal pada perencanaan pengujian
5. Memberikan dasar bagi analisa keandalan dan ketersediaan secara kualitatif
6. Mendokumentasikan sejarah kegagalan komponen untuk pengoperasian dan perawatan di masa yang akan datang
7. Memberikan dasar dan pijakan bagi pengembangan prioritas tindakan korektif terhadap sistem
8. Membantu member justifikasi terhadap penentuan redundansi, sistem deteksi kegagalan serta otomatisasi

Secara umum langkah – langkah penyusunan FMEA adalah sebagai berikut (Artana, 2013) :

1. *FMEA prequities*
2. *Functional block diagram*
3. *Failure mode analysis and preparation of work sheets*
4. *Team review*
5. *corrective action*

Metodologi *Risk Priority Number* (RPN) merupakan sebuah teknik untuk menganalisa risiko yang berkaitan dengan masalah-masalah yang potensial yang telah diidentifikasi selama pembuatan FMEA (Stamatis, DH, 1995, p45). Sebuah FMEA dapat digunakan untuk mengidentifikasi cara-cara kegagalan yang potensial untuk sebuah produk atau proses. Metode RPN kemudian memerlukan analisa dari tim untuk menggunakan pengalaman masa lalu dan keputusan engineering untuk memberikan peringkat pada setiap potensial masalah menurut rating skala berikut :

1. *Severity*, merupakan skala yang memeringkatkan severity dari efek-efek yang potensial dari kegagalan.
2. *Occurance*, merupakan skala yang memeringkatkan kemungkinan dari kegagalan akan muncul.
3. *Detection*, merupakan skala yang memeringkatkan kemungkinan dari masalah akan dideteksi sebelum sampai ketangan pengguna akhir atau konsumen.

Setelah pemberian rating dilakukan, nilai RPN dari setiap penyebab kegagalan dihitung dengan rumus di bawah. Adapun penentuan nilai RPN ditentukan berdasarkan Tabel 2.1, Tabel 2.2, Tabel 2.3.

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection$$

Tabel 2.1 *Severity* dari dampak kegagalan

<i>Severity</i>	Kriteria	Nilai
<i>Catastrophic</i>	Mengakibatkan kegagalan komponen lainnya, dapat mengakibatkan kecelakaan kerja	9 - 10
<i>Critical</i>	Mesin berhenti beroperasi, berkurangnya performa, bila dilanjutkan mengakibatkan kegagalan mesin dan kecelakaan kerja	7 - 8
<i>Marginal</i>	Berpengaruh terhadap operasional mesin, akan tetapi dapat ditanggulangi dengan tindakan lain	5 - 6

Dilanjutkan

Tabel 2.1 (Lanjutan)

<i>Minor</i>	Tidak berpengaruh terhadap operasional mesin, akan tetapi berkurangnya pada kenyamanan operasional	3 - 4
<i>Very minor</i>	Tidak berpengaruh dan tidak berefek apapun	1 - 2

(Sumber : Artana. *Teori Keandalan Sistem dan Aplikasinya*. 2013)

Tabel 2.2. Nilai deteksi terjadinya kegagalan

Deteksi	Kriteria	Nilai
<i>Uncertainty</i>	Tidak ada kontrol desain pendeteksi kegagalan	9 - 10
<i>Remote</i>	Sistem kontrol mendeteksi kegagalan akhir yang tidak mengakibatkan kegagalan permanen dan dapat dideteksi melalui pemeriksaan kompleks	7 - 8
<i>Low</i>	Sistem kontrol mendeteksi efek berikutnya dari terjadinya kegagalan dan dapat diketahui melalui pemeriksaan	5 - 6
<i>High</i>	Sistem kontrol mendeteksi <i>local effect</i> kegagalan dapat terdeteksi operator	3 - 4
<i>Very high</i>	Desain kontrol pasti mendeteksi kegagalan dengan alarm	1 - 2

(Sumber : Artana. *Teori Keandalan Sistem dan Aplikasinya*. 2013)

Tabel 2.3 Nilai frekuensi terjadinya kegagalan

<i>Occurrence</i>	Kriteria (Kejadian per tahun)	Nilai
<i>Frequent</i>	1 kali atau lebih	9 - 10
<i>Probable</i>	0,1 kali sampai 1 kali	7 - 8
<i>Occasional</i>	0,01 kali sampai 0,1 kali	5 - 6
<i>Remote</i>	0,001 kali sampai 0,01 kali	3 - 4
<i>Unlikely</i>	Kurang dari 0,001	1 - 2

(Sumber : Artana. *Teori Keandalan Sistem dan Aplikasinya*. 2013)

2.10. Dinamika Sistem

Dinamika Sistem (*System Dynamics*) adalah sebuah disiplin ilmu yang digagas pada tahun 1956 oleh Professor MIT (Massachusetts Institute of Technology), Jay W. Forrester. Dalam

tulisannya, Forrester mengemukakan pemodelan ilmiah berdasarkan perilaku kompleks dunia bisnis dengan mengusulkan suatu strategi simulasi yang unik. Istilah *Industrial dynamics* selanjutnya berubah menjadi *system dynamics* untuk menekankan penggunaan metodologi ini di berbagai bidang selain bidang bisnis. Ini adalah salah satu metode yang memberikan fasilitas untuk mengenali interaksi antara pengaruh – pengaruh yang berbeda dalam sistem tapi saling berhubungan.

Istilah *dynamics* (dinamika) dalam *system dynamics* mengacu pada situasi yang berubah dari waktu ke waktu. Istilah ini juga dapat ditafsirkan sebagai perubahan – perubahan keadaan suatu sistem sebagai respon terhadap perubahan – perubahan pada variable – variable input (Kim, 1998 : 62).

Dengan pemodelan simulasi dinamika sistem memungkinkan tidak hanya melihat peristiwa tetapi dinamika sistem juga dapat melihat pola perilaku dinamika dari waktu ke waktu. Perilaku dari sebuah sistem yang sering muncul dari struktur sistem itu sendiri dan perilaku biasanya berubah seiring waktu. Kadang-kadang terlihat simulasi mundur untuk hasil sejarah. Pada waktu lain tampak maju ke masa depan, untuk memprediksi hasil di masa depan. Dengan menggunakan metode sistem dinamik dapat menganalisa hubungan sebab akibat dari satu komponen ke komponen yang lainnya berdasar fungsi serta faktor-faktor lainnya terhadap keseluruhan sistem yang komplek. Dengan adanya metode sistem dinamik ini serta dapat menganalisa hubungan sebab akibat antar komponen, kita dapat mengambil keputusan yang tepat mengenai bagaimana sistem manajemen perawatan yang baik untuk komponen-komponen yang ada terhadap keberlangsungan proses di dalam sistem yang lebih komplek untuk meminimalisir kegagalan ataupun kerusakan yang dapat terjadi pada komponen-komponen pada sistem.

Dalam metode sistem dinamik, konsep sistem yang berlaku mengacu pada sistem yang tertutup (*closed system*) atau sistem yang mempunyai umpan balik (*feed back system*). Struktur yang terbentuk dari loop umpan balik tersebut akan menghubungkan sebuah keluaran pada suatu periode tertentu dengan masukan pada periode yang akan datang. Jadi sistem umpan balik yang ada pada akhirnya memiliki kemampuan untuk mengendalikan dirinya sendiri dalam mencapai tujuan tertentu yang diidentifikasinya sendiri. Loop yang menjadi kerangka dasar sistem dinamis tersebut dapat merupakan rangkaian tertutup yang menghubungkan masing-masing komponen atau sektor yang terkait yang dalam sistem nyata secara komprehensif dan runtut. Komprehensif mengindikasikan bahwa setiap komponen yang memiliki kompetensi terhadap obyek pengamatan akan dimodelkan dalam loop tertutup tersebut. Adapun komponen yang dimaksud meliputi variabel keputusan yang bertindak sebagai pengendali tindakan level (state) dari suatu system. Simulasi sistem dinamik didasarkan pada prinsip *cause and effect*, *feedback*, and *delay*. Beberapa simulasi sederhana akan menggabungkan hanya satu atau dua prinsip. Kebanyakan simulasi yang rumit akan menggunakan semua prinsip sesuai sifat yang ada di dunia nyata.

2.11. Hubungan Sebab Akibat

Peristiwa dinamis terjadi pada suatu sistem yang kompleks dan dipengaruhi lingkungan yang berhubungan dengan sistem tersebut. Diagram sebab akibat berguna untuk membuat konstruksi suatu sistem (Handani, 2012). Sehingga dalam hal ini, hubungan sebab akibat ini menunjukkan dampak yang signifikan pada pengoperasian *bow thruster*.

2.12. Tujuan System Dynamic Modelling

System Dynamic modelling dibuat untuk memberikan proses peramalan atau prediksi. Di samping itu, model sistem dinamis ini ditujukan untuk memahami karakteristik dan perilaku

mekanisme proses internal yang terjadi dalam suatu sistem tertentu. Sistem dinamis sangat efektif digunakan pada sistem yang membutuhkan tingkat pengelolaan akan data yang banyak dengan baik. Dengan fleksibilitas yang dimiliki maka hal ini akan membantu dalam melakukan proses formulasi model, penentuan batasan model, validasi model, analisis kebijakan, serta penerapan model.

2.13. Penelitian dengan Penyelesaian Dinamika Sistem (Dynamics Modelling)

Penyelesaian permasalahan dengan menggunakan metode dinamika sistem telah banyak dilakukan. Penelitian terbaru dalam beberapa tahun terakhir untuk beberapa kasus dengan penyelesaian menggunakan pemodelan dinamika sistem antara lain sebagai berikut :

1. Handani (2014) dalam publikasinya yang berjudul “*Modeling Optimum Operation of Ship Machinery by Using System Dynamics*” meneliti tentang Dinamika sistem untuk menentukan degradasi Reliability Index (RI) pada permesinan kapal sebagai support untuk main engine. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengurangi *operation cost* (Ct), *running cost* (Cr), *maintenance cost* (Cm) dan *downtime cost* (Cd) dimana analisa keandalan didasarkan pada data *maintenance*.
2. Eka Darma (2010) dalam skripsinya tentang “Optimasi Penjadwalan Penyediaan Kebutuhan Suku Cadang Sistem Penunjang Motor Induk di Perusahaan Pelayara Nusa Tenggara dengan Metode Dinamika Sistem” menjelaskan Dinamika sistem untuk mendapatkan data mengenai pegoptimalan serta prediksi - prediksi yang dapat dilakukan untuk penjadwalan kebutuhan suku cadang dan perawatan kapal untuk memperoleh benefit bagi perusahaan.
3. Kusuma, Pradikta (2012) juga menuangkan pemodelan dinamika sistem dalam skripsinya “Manajemen Perawatan

Komponen Operasional dengan Pemodelan Sistem Dinamis (Studi Kasus Prefractional Unit PT. Trans Pacific Petrochemical Indotama)” yang berisi Dinamika sistem untuk menganalisa sebab akibat yang ditimbulkan antara komponen yang mengalami kegagalan terhadap operasional keseluruhan sistem kilang minyak dan terhadap perusahaan. Manajemen perawatan digunakan untuk merencanakan dan mengoptimalkan strategi perawatan sehingga perusahaan akan memperoleh keuntungan sebesar mungkin.

4. Axella (2012) menggunakan dinamika sistem dalam “Aplikasi Model Sistem Dinamik untuk Menganalisis Permintaan dan Ketersediaan Listrik Sektor Industri (Studi Kasus : Jawa Timur)”. Dalam publikasi ini, pemodelan dinamika sistem untuk memprediksi berapa lama tahapan daur hidup suatu produk
5. Dinamika sistem juga digunakan untuk mengetahui ketahanan suatu produk di pasaran. “Analisis Daur Hidup Produk Berbasis Industri Kreatif Subsektor Kerajinan dengan Pendekatan Sistem Dinamik (Studi Kasus : Produk Industri Marmer dan Onix Tulungagung)” yang ditulis oleh Anita, Nurma (2013) memberikan gambaran Pemodelan dinamika sistem untuk memprediksi berapa lama tahapan daur hidup suatu produk
6. Dalam bidang lainnya, terdapat publikasi oleh Khumairoh, Lilik (2013) yaitu “Analisis Keterkaitan Pelaku Pergulaan Nasional: Suatu Penghampiran Model Dinamika Sistem”, dinamika sistem digunakan untuk mengetahui keterkaitan antar pelaku dalam sistem, mengetahui dampak kebijakan dalam jangka pendek, jangka menengah dan jangka panjang, pengurangan impor dapat dengan revitalisasi industri gula, bea impor, dan pembatasan konsumsi gula kristal oleh industri.

Dengan memperhatikan bidang penelitian yang berbeda – beda, dapat disimpulkan bahwa system dynamics modeling dapat

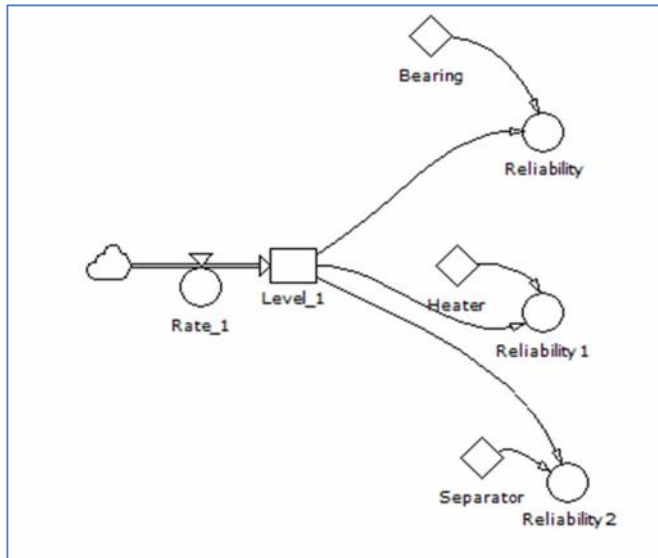
digunakan untuk menyelesaikan berbagai studi kasus dalam bermacam – macam bidang keilmuan.

2.14. Cara Kerja Dinamika Sistem

Dinamika sistem bekerja berdasarkan prinsip hubungan sebab akibat dengan *feedback* dan/atau *delay*, tergantung sistem tersebut apakah kompleks atau sederhana. Dimana ketika keputusan dirubah maka konsekuensinya pun akan berubah pula. Sehingga dapat mensimulasikan beberapa kemungkinan konsekuensi dari pengoperasian sistem dan keputusan perawatan yang akan dibuat. Berdasarkan cara kerja tersebut maka dibawah ini akan dibuat suatu diagram komponen. Dimana hubungan sebab akibat dari karakteristik komponen dapat dipaparkan dengan hubungan keandalan serta performa, keandalan dengan performa merupakan hubungan dinamis, hal ini dikarenakan keandalan suatu komponen dapat berubah maupun bertambah terhadap fungsi waktu. Dan dapat berubah berdasarkan aksi yang dilakukan untuk menaikkan indeks keandalan tersebut sesuai dengan definisi keandalan.

Pada pemodelan diatas merupakan gambaran keandalan dari suatu komponen yang terdistribusi eksponensial dimana pada pemodelan tersebut memaparkan bagaimana keandalan dari suatu komponen berubah berdasarkan fungsi waktu atau dengan kata lain keandalan suatu komponen akan semakin menurun berdasarkan waktu operasional sistem.

Pemodelan diatas merupakan gambaran keandalan dari suatu komponen yang terdistribusi eksponensial. Pemodelan tersebut memaparkan bagaimana keandalan dari suatu komponen berubah berdasarkan fungsi waktu atau dengan kata lain keandalan suatu komponen akan semakin menurun berdasarkan waktu operasional sistem.



Gambar 2.9. Hubungan keandalan menggunakan *software* Powersim 2005

2.15. *Building Block* Dinamika Sistem pada Powersim Studio 2005

Pada *software* Powersim 2005, *tool* yang akan digunakan adalah *level*, *auxiliary*, serta *constant*. Semua *tool* tersebut berfungsi untuk merepresentasikan perumusan matematis serta analogi model yang akan dibuat. Setiap *variable* akan didefinisikan dalam sebuah persamaan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Penelitian

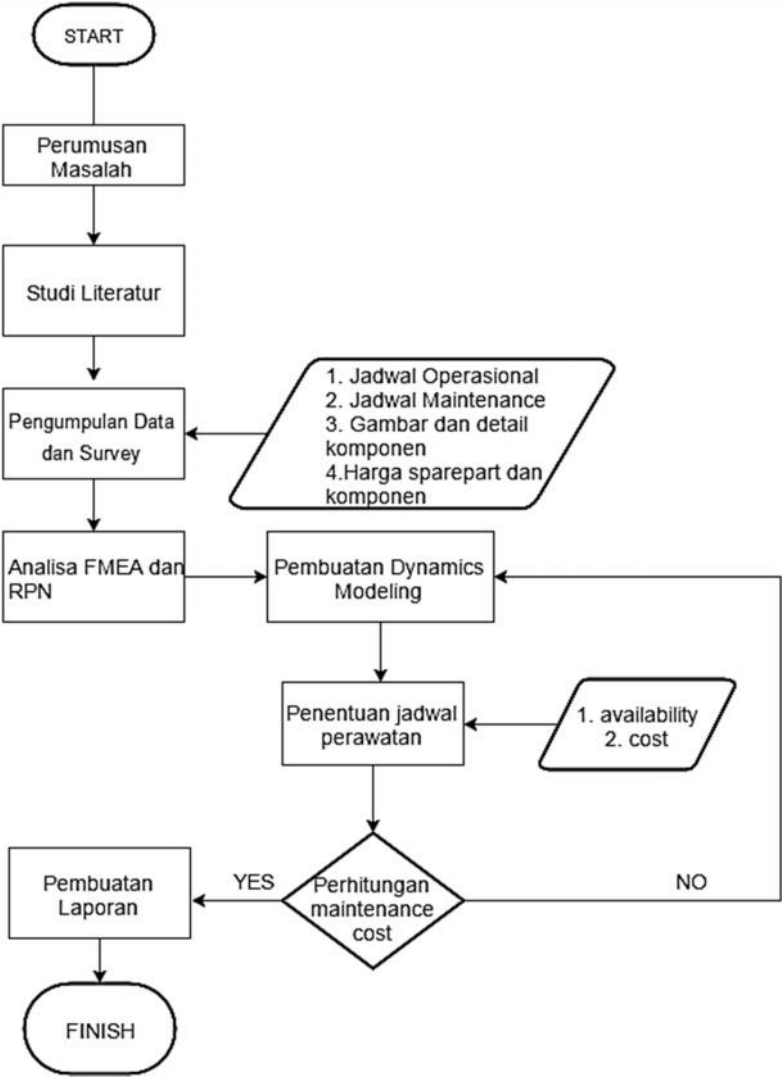
Untuk menyelesaikan masalah diatas akan memerlukan proses penelitian yang terstruktur sehingga diperlukan langkah – langkah yang sistematis dalam pelaksanaannya. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada flow chart pada Gambar 3.1.

3.2. Perumusan Masalah

Pada tahapan paling awal ini, akan dirumuskan masalah apa saja yang ingin diselesaikan dalam Tugas Akhir ini. Skripsi ini membahas tentang kegagalan komponen apa saja yang akan mempengaruhi kinerja *bow thruster system* dan bagaimana jadwal perawatan dengan biaya operasi paling minimum.

3.3. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur, penulis akan mencari referensi sebanyak-banyaknya terkait tema atau topik yang diangkat pada Tugas Akhir ini, yaitu penjadwalan perawatan (*scheduling*) suatu aset menggunakan metode dinamika sistem. Literatur yang akan ditinjau dapat berupa Tugas Akhir, Jurnal, Buku, Prosiding, Internet dan lain-lain. Selain itu pada tahapan ini juga akan dijelaskan secara detail mengenai istilah-istilah penting dan yang akan sering muncul pada Tugas Akhir ini.



Gambar 3.1. Flowchart pengerjaan skripsi

3.4. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara mendatangi langsung ke tempat studi kasus yang telah ditentukan, yakni PT. Orela Bahari. Data-data yang dibutuhkan antara lain :

1. General Arrangement Kapal
2. Gambar sistem *bow thruster* kapal
3. Spesifikasi teknis komponen *bow thruster*
4. Data jenis – jenis kegagalan pada komponen yang biasa terjadi dan penyebabnya
5. Data pelayaran kapal

Kemudian dikarenakan data primer tidak cukup lengkap, maka sebagai pelengkap akan digunakan OREDA 2002.

3.5. Analisa FMEA

FMEA adalah salah satu langkah dalam RCM (Reliability Centered Maintenance). Sehingga, langkah – langkah melakukan FMEA dilakukan dengan urutan sebagai berikut :

3.5.1. Pemilihan Sistem dan Pengumpulan Informasi

Dalam skripsi ini, penulis telah menentukan sistem yang dipilih yaitu sistem *bow thruster*. Adapun yang menjadi acuan dalam pemilihan sistem adalah sebagai berikut :

1. Sistem banyak mengalami preventif maintenance dan banyak biaya untuk melakukan maintenance task
2. Sistem banyak mengalami corrective maintenance dalam 2 (dua) tahun terakhir
3. Kombinasi item 1 dan item 2
4. Sistem dengan biaya corrective maintenance yang tinggi dalam 2 (dua) tahun terakhir
5. Sistem dengan kontribusi yang besar terhadap kegagalan operasi pada sebagian maupun keseluruhan sistem dalam 2 (dua) tahun terakhir
6. Pemilihan sistem berdasarkan pada sistem yang memiliki dampak lingkungan secara langsung.

3.5.2. Definisi dan Ruang Lingkup Sistem

Definisi dan ruang lingkup sistem digunakan untuk menentukan bagaimana sistem bekerja. Sistem akan dibagi-bagi menjadi beberapa sub-sistem.

3.5.3. System Functional Block Diagram

Pada tahap ini dilakukan penggambaran bagaimana komponen saling berhubungan satu dengan yang lain.

3.5.4. FMEA Analysis

Pada tahap ini dilakukan analisa kualitatif menggunakan FMEA worksheet. Kemudian akan didapatkan out put berupa komponen yang mengalami kegagalan selanjutnya diurutkan bagaimana kegagalan dapat terjadi. Bagaimana akibat lokal dari kegagalan dan apa akibat akhir dari suatu kegagalan, bagaimana peluang terjadinya kegagalan dan seberapa parah dampak yang ditimbulkan yang dijadikan dasar untuk menghitung nilai kekritisian.

Pada tahap ini menggunakan worksheet FMEA Mil-Std-1629A yang sudah dimodifikasi dengan penambahan beberapa kolom seperti pada Gambar 3.1 yaitu *RPN (Risk Priority Number)*: merupakan ukuran priorotas yang digunakan ketika menilai risiko dengan nilai kekritisian yang sama dan selanjutnya dengan nilai prioritas tertinggi untuk yang lebih diutamakan.

Pada tahap ini menggunakan worksheet FMEA Mil-Std-1629A yang sudah dimodifikasi dengan penambahan beberapa kolom seperti pada Gambar 3.2 yaitu *RPN (Risk Priority Number)*. RPN merupakan ukuran priorotas yang digunakan ketika menilai risiko dengan nilai kekritisian yang sama dan selanjutnya dengan nilai prioritas tertinggi untuk yang lebih diutamakan. Dengan mempertimbangkan nilai RPN severity level

dari FMEA, langkah selanjutnya adalah membuat memilih komponen dengan nilai kekritisan yang tinggi. Komponen – komponen tersebut akan dianalisa dan disimulasikan perawatannya berdasarkan dinamika sistem.

FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS

SYSTEM _____

INDENTURE LEVEL _____

REFERENCE DRAWING _____

MISSION _____

DATE _____

SHEET _____

COMPILED BY _____

APPROVED BY _____

IDENTIFICATION NUMBER	ITEM/FUNCTIONAL IDENTIFICATION (NOMENCLATURE)	FUNCTION	FAILURE MODES AND CAUSES	MISSION PHASE/ OPERATIONAL MODE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION METHOD	COMPENSATING PROVISIONS	SEVERITY CLASS	REMARKS
					LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER LEVEL	END EFFECTS				

Gambar 3.2. Form FMEA berdasarkan Military Standard 1629 A

3.6. Penyusunan Model System Dynamics

Data komponen yang dianalisa dengan FMEA selanjutnya disusun dalam model dinamika sistem (system dynamics) dan diolah dengan software Powersim. Data yang diolah merupakan;

1. Data pelayaran digunakan untuk mengetahui kondisi keberadaan kapal, kapan kapal sedang dalam pelayaran atau sedang sandar dengan mesin mati
2. Data keandalan sistem berupa laju kegagalan, rata-rata waktu perawatan, yang didapatkan dari secondary data OREDA dan NPRD. Data tersebut kemudian disimulasikan dengan pendekatan dinamika sistem untuk mengetahui keadaan mesin selama waktu berjalan.
3. Data biaya perawatan berupa biaya perawatan pencegahan dan biaya perawatan korektif. Data tersebut nantinya digunakan untuk menentukan waktu perawatan yang optimal.

3.7. Perhitungan Biaya Perawatan

Persamaan biaya pada analisa ini dilakukan setelah menemukan jadwal perawatan pada sistem. Dari hasil simulasi jadwal perawatan dapat dihitung berapa besar biaya perawatan dilakukan, berapa lama terjadi *downtime* pada sistem yang selanjutnya biaya perawatan hasil simulasi dapat diketahui.

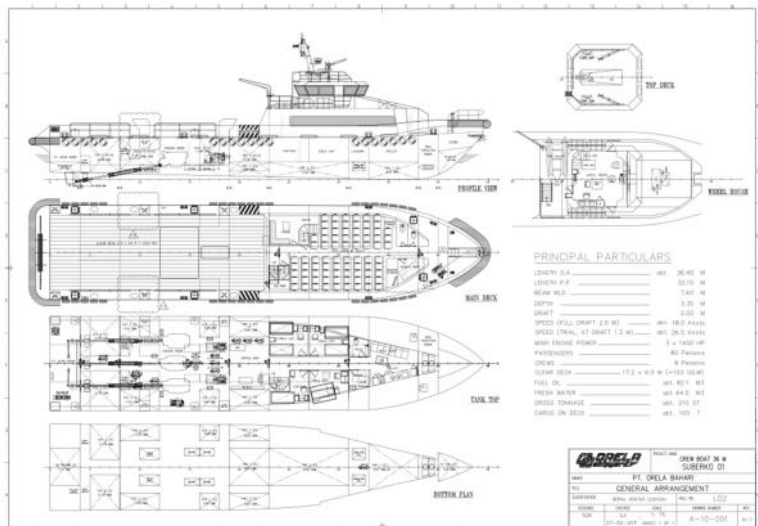
3.8. Penjadwalan Perawatan

Setelah menentukan besarnya biaya perawatan, langkah selanjutnya adalah membuat rekomendasi perawatan komponen berdasarkan data pelayaran, biaya perawatan dan perbaikan, dan jenis – jenis perawatan apa saja yang dilakukan.

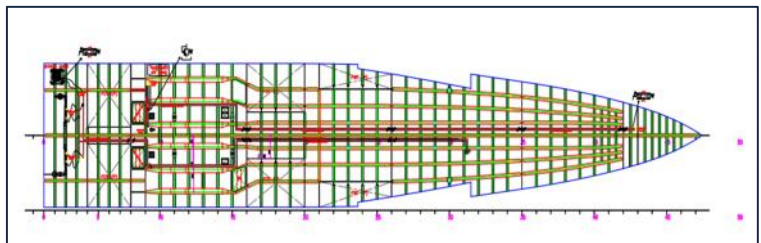
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Ship Overview dan Pola Pelayaran

Penelitian ini dilakukan pada kapal CB. X yang digunakan sebagai kapal patroli maupun *crewboat*. Berikut adalah kapal yang akan dianalisa.



Gambar 4.1. Rencana umum kapal yang akan dianalisa



Gambar 4.2. Layout pipa hidraulik kapal

Kapal memiliki panjang 36,40 meter. Kapal berbahan aluminium dan memiliki kecepatan hingga 26 knots. Kapal ini digerakkan menggunakan 3 (tiga) unit mesin utama berdaya 3x1400 HP. Kapasitas penumpang adalah 80 orang, dan dibuat di bawah supervise badan klasifikasi kapal BV (Bureau Veritas). Detail Rencana Umum, ukuran utama dan spesifikasi teknis kapal dapat dilihat pada Lampiran 1. Gambar 4.2. menunjukkan layout perpipaan hidraulik dari reservoir tank yang terhubung ke *forepart* dimana *bow thruster* dipasang. Detail layout pipa hydraulic dapat dilihat pada Lampiran 1.

Kapal beroperasi di daerah perairan Madura Barat (*West Madura Offshore*) dan bergerak dari satu platform ke platform lain. Karena digunakan sebagai kapal crewboat sekaligus patroli, pola operasi kapal ini bisa berbeda setiap harinya. Namun secara umum rata-rata pelayaran adalah 6 trip per hari dengan jeda pada siang hari (1 – 3 jam) dan malam hari (3 – 6 jam).

Pada kapal ini terdapat tiga mesin utama (*main engine*). Mesin utama bagian tengah terhubung dengan *power take off*, yaitu penggerak *bow thruster*. Dengan melihat sistem tersebut, maka jam operasi sistem *bow thruster* sama dengan jam operasi main engine.

4.2. Analisa Moda Kegagalan Menggunakan FMEA

Analisa moda kegagalan dengan Failure Mode and Analysis (FMEA) dilakukan dengan urutan sebagai berikut :

1. Pemilihan sistem dan pengumpulan data
2. Definisi dan ruang lingkup sistem
3. Deskripsi dan *functional block diagram*
4. *Failure mode and effect analysis* (FMEA)

4.2.1. Pemilihan Sistem dan Pengumpulan Data

Sistem yang akan digunakan sebagai laporan dalam FMEA adalah *bow thruster system*. Sistem ini digunakan untuk

melakukan membantu maneuver kapal pada saat mendekati landing boat dan dermaga. Adapun yang menjadi acuan dalam pemilihan sistem adalah sebagai berikut:

1. Komponen yang banyak mengalami *preventif maintenance* dan banyak biaya untuk melakukan *maintenance task*
2. Jika komponen mengalami kegagalan, maka sistem tidak dapat bekerja

Untuk merencanakan kegiatan perawatan pada CB. X terutama pada sistem *bow thruster* diperlukan data komponen pada sistem. Komponen – komponen yang termasuk pada sistem ini dapat dilihat pada Tabel 4.1. Adapun untuk melakukan analisa FMEA, diperlukan data antara lain :

1. Diagram sistem *bow thruster* CB. X
2. Data komponen pada sistem *bow thruster* sebagaimana Tabel 4.1.,
3. Project guide hydraulic *thruster* merk Keypower model KP 18A-419
4. Data rute pelayaran kapal CB. X

Data peralatan pada sistem adalah sebagai berikut.

Tabel 4.1. Ringkasan detail peralatan pada *bow thruster*

Spesifikasi Teknis	
<i>Bow Thruster</i>	
Tipe	Hydraulic <i>thruster</i>
Propeller	
Jumlah blade	4
Pitch	Fixed
Pabrikan	Keypower Equipment inc
Model	KP 18A-419
Power/RPM	75 HP @1500 RPM

Dilanjutkan

Tabel 4.1 (Lanjutan)

Spesifikasi Teknis	
Gear Housing	Aluminium A356-T6 anodize MIL A86255
Blade material	Almag anodize MIL A86255
Jumlah	1 Unit
<i>Solenoid valve</i>	
Pabrikan	Hydrotechnic
Model	DS-3C2-10G-30-D2-30
Pressure	250 bar
Kecepatan aliran	1100 lpm
Tipe fluida	ISO VG 32, 46, 68
Viskositas	100 – 400 cSt
Suhu pengoperasian	-15 – 70°C
Jumlah	1 Unit
<i>Power take off</i>	
Type	Hydraulic <i>Gear pump</i>
Pabrikan	Kawasaki
Model	K3V-63DT P100R-2N01
Displacement	63 cm ³
Penggerak	Engine <i>Gearbox</i>
Jumlah	1 Unit
Tekanan Maksimum	34,3 MPa = 343 bar
Torsi sebagai PTO	125 N.m
Fluida yang digunakan	Antiwear hydraulic fluids Shell TELLUS 46
Flitrasi	10 µm
<i>Heat exchanger</i>	
Pabrikan	Keypower Equipment inc
Model	KPX18-cooler
Jumlah	1 Unit
<i>Pressure Reducing Valve</i>	
Pabrikan	Hydrotechnic
Model	BRV-02G-20

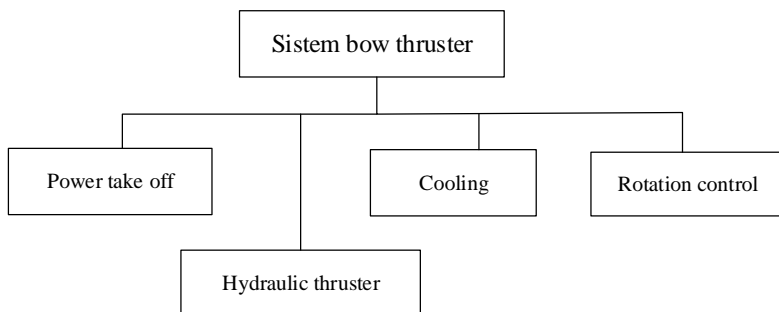
Dilanjutkan

Tabel 4.1 (lanjutan)

Spesifikasi Teknis	
Perencanaan tekanan	25 bar
Jumlah	1 Unit
<i>Filter</i>	
Kapasitas penyaringan	10 μ
Jumlah	2 pcs
<i>Kontrol Hidrolik (Joystick)</i>	
Pabrikan	Keypower Equipment inc
Jumlah	1 set
<i>Hydraulic Reservoir Tank</i>	
Kapasitas	100 gal
Perlengkapan	<i>Low level alarm</i>
Penunjang	<i>High level alarm</i>
	<i>Butterfly valve</i>

4.2.2. Ruang Lingkup Laporan

Pembahasan ruang lingkup laporan sistem *bow thruster* pada CB. X digunakan untuk menentukan komponen – komponen pada sistem tersebut. Sistem penggerak *bow thruster* dapat dilihat pada bagan di bawah ini :



Gambar 4.3. Ruang lingkup pembahasan

Subsistem yang membentuk sistem pengoperasian *bow thruster* secara langsung adalah *power take off* dan rotation control. Adapun sistem pendingin juga berfungsi sebagai pendingin bagi sistem dan komponen di luar *bow thruster* tersebut.

4.2.2.1. Diagram Sistem *Bow Thruster*

Bow thruster digerakkan secara hidraulik menggunakan pompa hidraulik yang digerakkan dengan mengambil daya dari *main engine*. Diagram sistem ini dapat dilihat pada Gambar 4.4. Adapun untuk control aliran fluida dan putaran *thruster* menggunakan actuator *solenoid valve* sesuai diagram pada Gambar 4.5.

4.2.2.2. Komponen pada Sistem *Bow Thruster*

Komponen pada *bow thruster* dibagi-bagi berdasarkan sub-sistemnya.

1. *Sub-sistem Power take off*

Sub-sistem *power take off* difungsikan untuk menggerakkan *thruster*. Cara kerja dari sistem ini adalah dengan menghubungkan *main engine* di *centre line* kapal dengan *gearbox*. *Gearbox* tersebut dihubungkan dengan *gear pump*. Sehingga cara kerja dari sub-sistem ini adalah dengan mengambil daya dari putaran *main engine* sehingga pompa dapat bekerja. Pompa tersebut memompa fluida dari tanki reservoir untuk menggerakkan *bow thruster*. Adapun komponen pada sub-sistem *power take off* ini adalah sebagai berikut :

- *PTO gear pump*
- *Hydraulic Reservoir tank*
- *Low level alarm*
- *High level alarm*
- *Pressure relief valve*
- *Filter/saringan fluida*

- *Bow thruster*

2. Sub-sistem Pendingin

Adanya aliran fluida bertekanan tinggi di dalam sistem perpipaan *bow thruster* menyebabkan timbulnya panas. Akibat adanya panas yang terlalu tinggi dapat mengurangi viskositas fluida dalam subsistem yang berakibat menurunnya tekanan yang digunakan untuk menggerakkan *actuator (solenoid valve)*. Desain suhu maksimum dari fluida hidrolik adalah 65°C. Sub-sistem untuk *cooling/pendindingan* terdiri dari :

- *Hydraulic heat exchanger*
- *Butterfly valve*
- *Central cooling*

3. Sub-sistem Pengendali (*Control*)

Sub-sistem pengendali pada *bow thruster* system digunakan untuk mengatur arah dan kecepatan *bow thruster*. Sub-sistem ini terdiri dari *joystick* dan *solenoid valve*. *Joystick* digunakan untuk mengatur arah dari *solenoid valve* sehingga propeller *thruster* dapat bergerak searah jarum jam, berlawanan arah jarum jam, ataupun berhenti berputar. *Solenoid valve* digunakan untuk mengatur arah putaran *bow thruster* atau sebagai *directional valve*. Di dalam *joystick* terdapat silinder hidrolik, *connecting hose*, katup hidrolik, dan pipa hidrolik.

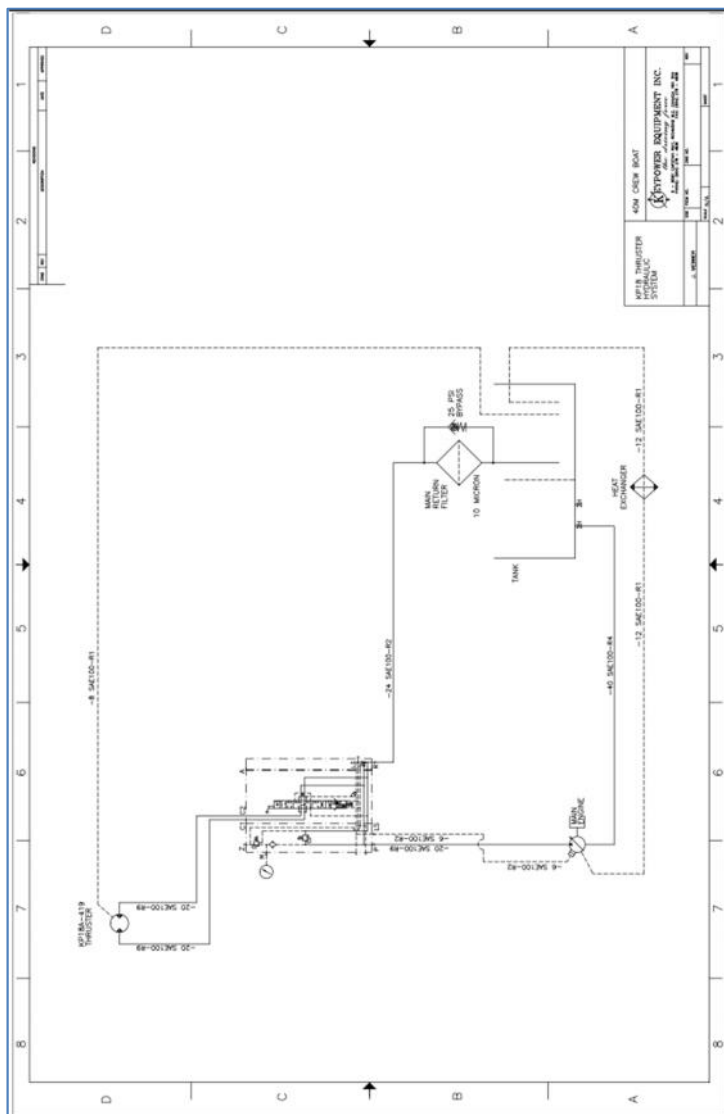
4.2.2.3. Ruang Lingkup Sistem

Ruang lingkup pekerjaan komponen perlu dibuat untuk mengetahui komponen – komponen yang saling mempengaruhi apabila terjadi kegagalan pada sistem lainnya. Adapun batasan – batasan tersebut adalah sebagai berikut :

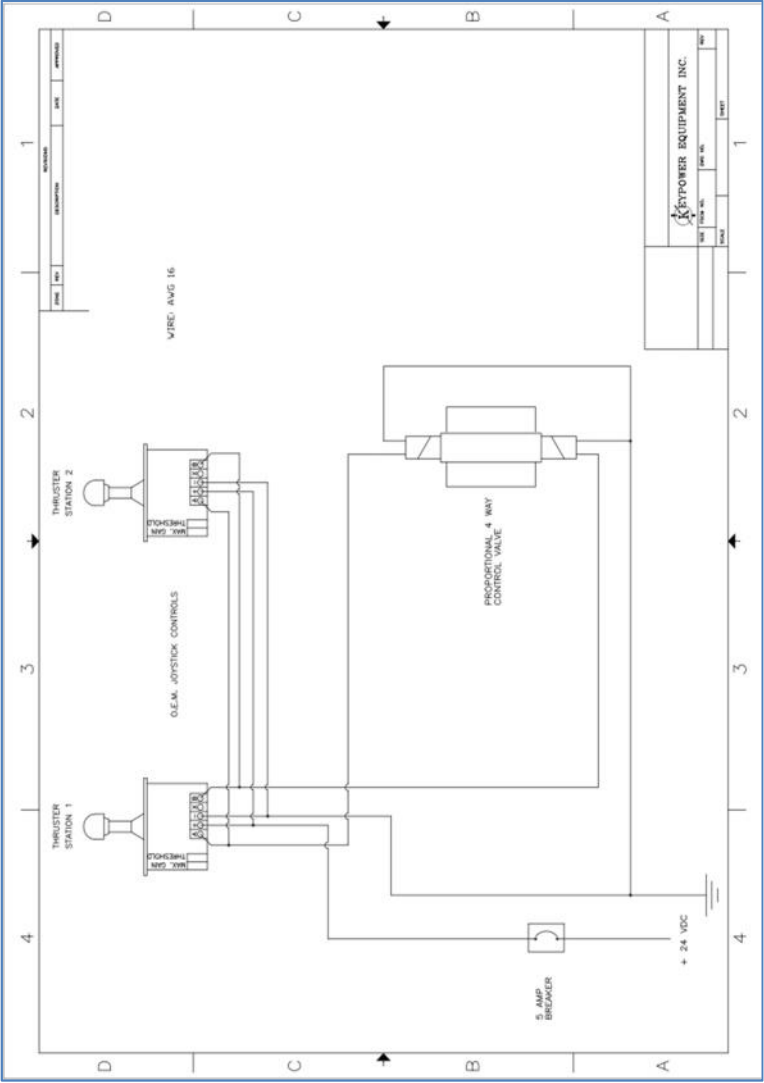
1. Memompa fluida dari dalam *reservoir tank*. Daya pompa berasal dari putaran main engine

2. Fluida bergerak melewati *solenoid valve*. Jika *joystick* berada dalam kondisi netral, aliran fluida kembali ke dalam reservoir tank.
3. Jika *joystick* bergerak ke kiri atau ke kanan, *solenoid valve* bergerak ke kiri atau ke kanan. Fluida menuju poros *bow thruster*. *Bow thruster* berputar.
4. Aliran fluida melewati *pressure relief valve* yang dilengkapi filter. Filter harus diganti secara teratur agar tidak ada kotoran yang mengendap.
5. Pendinginan menggunakan *cooling system* yang juga digunakan untuk mendinginkan *main engine*.

Dari pola kerja masing – masing komponen diketahui bahwa komponen yang berpengaruh langsung terhadap *bow thruster* adalah *gear pump*.



Gambar 4.4. sistem *thruster* hidraulik

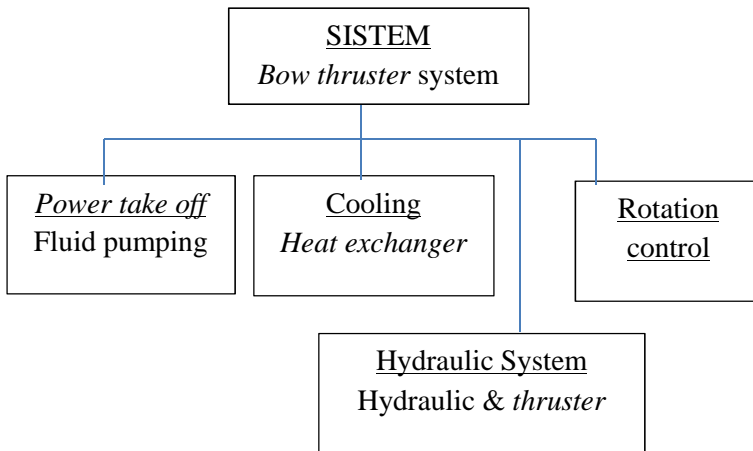


Gambar 4.5. Sistem control bow thruster dengan solenoid valve

4.2.3. Deskripsi Sistem dan Functional Block Diagram

4.2.3.1. Deskripsi Sistem

Pada Gambar 4.7. dijelaskan mengenai batasan sistem *bow thruster*. Untuk mendeskripsikan sistem tersebut, digambarkan blok diagram fungsional sebagai berikut :



Gambar 4.7. Diagram deskripsi sistem

1. Deskripsi fungsional

Proses

- Poros *gearbox* berputar akibat adanya putaran engine. Putaran *gearbox* menggerakkan *gear pump*.
- *Gear pump* mengambil fluida dari reservoir tank.
- *Joystick* terhubung dengan *solenoid valve* untuk mengatur arah dan kecepatan putaran *bow thruster*
- *Solenoid valve* terhubung dengan medan magnet dari baterai. Adanya gerakan pada *joystick* menyebabkan perpindahan pada actuator.

- Aliran fluida menimbulkan tekanan hidrolik sehingga menggerakkan *bow thruster*.
- Fluida kembali lagi menuju reservoir tank.

Pendinginan

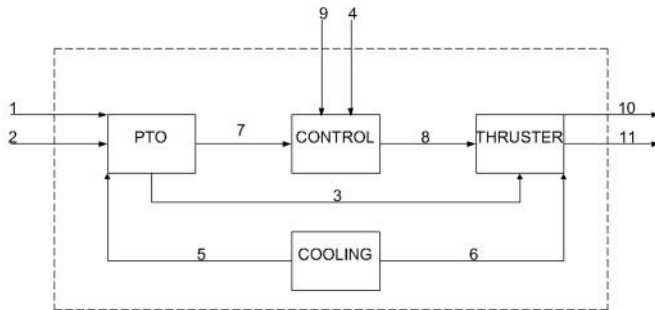
- Sistem pendinginan diperlukan untuk mendinginkan fluida dalam sistem hidrolik.
- Pendinginan dilakukan untuk menurunkan temperature akibat adanya tekanan hidrolik dan gesekan pada poros akibat putaran *thruster*.
- Pendingin *bow thruster* system adalah *hydraulic heat exchanger* yang terhubung dengan sistem pendingin pusat yang juga mendinginkan main engine dan permesinan di kamar mesin.
- Sistem *bow thruster* dilengkapi dengan sistem pendingin untuk mencegah timbulnya panas akibat adanya putaran *thruster*. Pendinginan dengan menggunakan minyak pelumas yang disirkulasikan melewati *hydraulic heat exchanger*. *Hydraulic heat exchanger* didinginkan dengan menggunakan *central cooler* yang didinginkan air laut.

Kelengkapan tambahan

- *Reservoir tank* dilengkapi dengan *low level alarm* dan *high level alarm* untuk mengontrol volume fluida dalam tanki
- *Low level alarm* akan berbunyi jika volume fluida dalam reservoir terlalu sedikit. Sedangkan *high level alarm* akan berbunyi jika volume fluida dalam reservoir terlalu banyak.
- Sistem dilengkapi dengan filter untuk menyaring fluida yang masuk ke dalam *reservoir tank*.
- *Pressure relief valve* dipasang pada pipa menuju *reservoir tank*. Fungsinya untuk mencegah terjadinya tekanan yang terlalu besar. *Valve* tersebut dilengkapi dengan sistem bypass, sehingga jika tekanan melebihi standar yang telah ditetapkan, maka fluida akan langsung mengalir ke *reservoir* tanpa melewati *valve* tersebut. Adanya tekanan berlebihan

dapat disebabkan kotoran yang mengendap pada filter terlalu banyak sehingga filter harus diganti. Tekanan fluida yang diizinkan adalah untuk melewati pressure relief valve adalah 10 bar. Sedangkan filter diganti setiap 100 jam sekali.

2. Functional Block Diagram



Gambar 4.8. IN/OUT Interface

Gambar 4.8 memperlihatkan sistem *bow thruster* yang telah dibagi dalam fungsional sub sistem yaitu *power take off*, *thruster control*, *thruster rotation*, dan *thruster cooling*. Pada gambar tersebut, blok diagram dilengkapi IN/OUT interface untuk mengetahui interface dalam sistem pengoperasian *bow thruster*.

Berdasarkan penomorannya, IN interface antara lain :

1. Daya dari main engine menggerakkan shaft
2. Shaft terhubung dengan *gearbox* sehingga *gearbox* menggerakkan pompa
3. Pompa mengalirkan fluida dengan kapasitas sehingga menyalakan sistem hidraulik, yang memutar *thruster*
4. Baterai menimbulkan medan magnet dalam *solenoid valve*
5. *Heat exchanger* mendinginkan PTO

6. *Heat exchanger* mendinginkan *bow thruster*
7. PTO mengalirkan fluida melewati *solenoid valve* pada subsistem control
8. *Joystick* dari subsistem control memutar *solenoid valve* dan menggerakkan *thruster*
9. *Joystick* menggerakkan *solenoid valve*

OUT Interface :

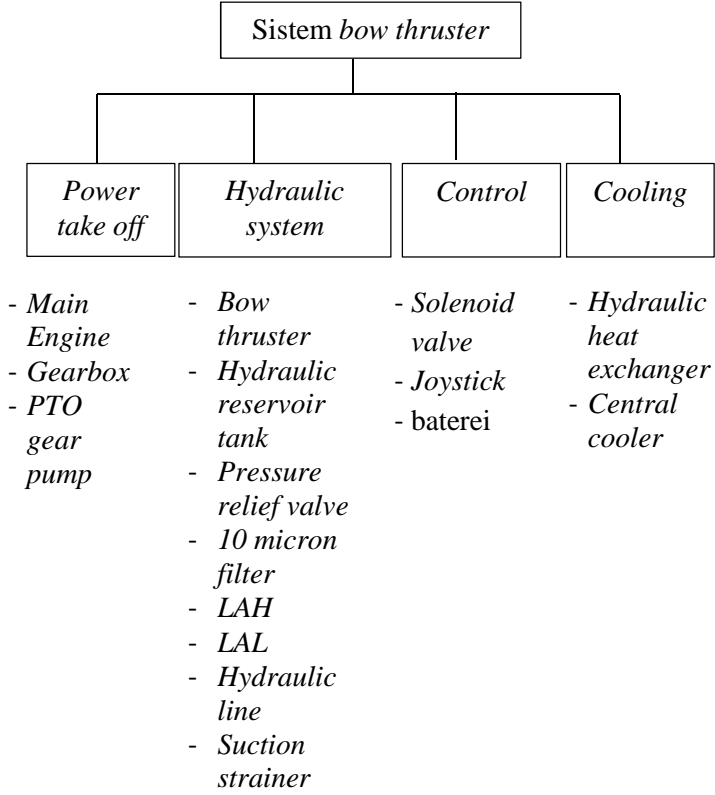
10. *Thruster* menghasilkan daya untuk melakukan dynamic positioning
11. Fluida yang menggerakkan *bow thruster* dialirkan lagi menuju reservoir tank

3. SWBS (*System Work Breakdown Structure*)

SWBS digunakan untuk mendeskripsikan susunan peralatan – peralatan dari masing – masing sub-sistem pada functional block diagram. Daftar peralatan ini disusun pada level komponen. Semua komponen yang terdapat dalam ruang lingkup sistem harus tercantum dalam daftar ini.

4. Fungsi Sistem dan Kegagalan Fungsional *Bow Thruster* System

Langkah sebelumnya digunakan untuk membangun susunan informasi yang mendefinisikan fungsi dari sistem yang dipilih. Analisa sistem *bow thruster* dilakukan berdasarkan fungsi dari peralatan-peralatan di dalamnya. Kegagalan fungsional (functional failure) akan menjelaskan bagaimana sistem *bow thruster* dalam kapal mengalami kegagalan operasi. Analisa ini dilakukan pada level sub-sistem, bukan pada masing – masing komponen.



Gambar 4.9. SWBS pada *bow thruster* system

Tabel 4.2. Tabel fungsi dan kegagalan fungsional sistem

1. <i>Power take off</i> Sub-system		
Fungsi No.	Kegagalan Fungsional No.	Deskripsi
1.1.		Memompa fluida dari reservoir tank ke <i>bow thruster</i> dengan Menghasilkan torsi <i>power take off</i> sebesar >125 N.m

Dilanjutkan

Tabel 4.2 (lanjutan)

Fungsi No.	Kegagalan Fungsional No.	Deskripsi
1.2	1.1.1	Gagal dalam menghasilkan aliran fluida dari <i>reservoir tank</i> ke <i>bow thruster</i>
	1.1.2	Torsi yang dihasilkan < 125 N.m
	1.2.1	Menghasilkan tekanan hidraulik > 200 bar menuju <i>bow thruster</i>
2.		Tekanan hidraulik yang dihasilkan < 200 bar
2. Thruster rotation sub system		
2.1.		Menyimpan fluida hidraulik berupa minyak pelumas dalam <i>reservoir tank</i> .
2.2	2.1.1	Tanki tersumbat
		Mensirkulasikan fluida di dalam hidraulik line
2.3	2.2.1	Hidraulik line bocor
		Menghasilkan thrust sebesar min. 75 HP pada kondisi full load
	2.3.1.	Thrust yang dihasilkan <75 HP pada kondisi full load
2.4	2.3.2	<i>Thruster</i> propeller mengalami kavitasi
		menyaring fluida sebelum kembali ke <i>reservoir tank</i> dengan filter 10 micron
	2.4.1.	Filter tersumbat
	2.4.2	Fluida melewati pipa by pass
3. Control System		
3.1.		Memutar <i>bow thruster</i> searah ataupun perlawanan arah jarum jam

Dilanjutkan

Lanjutan Tabel 4.2

Fungsi No.	Kegagalan Fungsional No.	Deskripsi
3.2	3.1.2	Actuator tidak dapat dioperasikan
3.3		Menjaga <i>bow thruster</i> tidak bergerak pada saat tidak diperlukan
		Mengatur kecepatan putaran <i>thruster</i>
	3.3.1	Pada saat <i>joystick</i> dioperasikan, <i>bow thruster</i> tidak berputar
4.	<i>Cooling System</i>	
4.1		Mendinginkan fluida/pelumas dalam pipa hidrolik hingga suhu maksimum <150° F atau 65° C
	4.1.1.	Pendinginan fluida tidak dapat mencapai <65° F.

4.2.4. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Sistem Bow Thruster

4.2.4.1. Functional Failure – Equipment Matrix

Ini adalah langkah dimana sistem dianalisa dengan cara menghubungkan secara langsung fungsi dan komponen dalam sistem (system function dan system equipments). Hal ini dilakukan dengan cara membuat matriks hubungan kegagalan fungsional dan komponen – komponen dalam sistem sesuai Tabel 4.3. Tabel ini menunjukkan nama komponen dalam sistem *bow thruster* sesuai SWBS pada gambar 4.6 dan jenis kegagalan fungsional yang dialami sesuai Tabel 4.2.

Tabel 4.3. Matrik kegagalan fungsional komponen *bow thruster system*

No.	Komponen	Kegagalan Fungsional											
		<i>Power take off</i>			<i>Hydraulic system</i>						<i>Control</i>		<i>Cooling</i>
		1.1.	1.1.	1.2.	2.1.	2.2.	2.3.	2.3.	2.4.	2.4.	3.1.	3.4.	4.1.1
		1	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	
1	<i>Main Engine</i>	X											
2	<i>Gearbox</i>	X											
3	<i>PTO Gear pump</i>	X	X	X									
4	<i>Bow thruster</i>						X	X					
5	<i>Hydraulic reservoir tank</i>			X	X								
6	<i>Pressure relief valve</i>						X						
7	<i>10 micron filter</i>				X		X		X	X			
8	<i>High level alarm</i>				X		X						
9	<i>Low level alarm</i>				X		X						
10	<i>Hydraulic line</i>					X							

Tabel 4.4. Matrik kegagalan fungsional komponen *bow thruster system* (Lanjutan)

No	Komponen	Kegagalan Fungsional											
		Power take off			Thruster Rotation						Control		Cooling
		1.1.1	1.1.2	1.2.1	2.1.1	2.2.1	2.3.1	2.3.2	2.4.1	2.4.2	3.1.1	3.4.1	4.1.1
11	Solenoid valve										X	X	
12	Joystick										X		
13	Battery										X	X	
14	Hydraulic heat exchanger												X
15	Central cooler												X
16	Butterfly valve												X
17	SW cooling pump												X
18	Cooling piping												X

4.2.4.2. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

FMEA merupakan analisa kegagalan fungsional yang terperinci dimana modifikasi untuk menambah dan mengurangi komponen dalam Tabel 4.3 dimungkinkan. Analisa ini dimulai dari kegagalan fungsional pada tiap-tiap sub-sistem. Selanjutnya, kegagalan fungsional didasarkan pada tiap-tiap komponen yang diidentifikasi pada matrix hubungan kegagalan fungsional dan peralatan. Penggunaan istilah bentuk kegagalan dalam analisa ini berdasarkan daftar moda kegagalan pada OREDA 2002 halaman 57 dalam Tabel 4.5 berikut. Adapun bentuk kegagalan yang tidak terdapat pada Tabel 4.5. akan dituliskan secara lengkap pada analisa FMEA Tabel 4.6. Komponen yang dimasukkan ke dalam analisa fungsional adalah komponen – komponen pada *bow thruster*. Analisa FMEA ada pada Tabel 4.5 dengan menggunakan aturan Military Standard MIL-STD-1629A.

Data macam – macam mode kegagalan yang tercantum dalam skripsi ini didapat dari :

1. Interview dengan *Technical Manager* yang bertanggung jawab dalam menentukan penjadwalan perawatan dan *maintenance task*
2. Interview dengan tim *engineering* dari galangan yang bertanggungjawab dalam merancang dan membangun kapal CB. X
3. Data mode kegagalan komponen pada buku petunjuk pemasangan dan perawatan komponen.

Tabel 4.5 Daftar Moda Kegagalan – OREDA 2002

No.	Kode	Definisi
1	AIR	<i>Abnormal Instrument Reading</i>
2	BRD	<i>Breakdown</i>
3	ERO	<i>Erratic output</i>
4	ELP	<i>External leakage – Process medium</i>
5	ELU	<i>External leakage – Utility medium</i>
6	FTS	<i>Fail to start on demand</i>

dilanjutkan

Tabel 4.5 (lanjutan)

No.	Kode	Definisi
7	STP	<i>Fail to stop on demand</i>
8	HIO	<i>High output</i>
9	INL	<i>Internal leakage</i>
10	LOO	<i>Low output</i>
11	SER	<i>Mnr in-service problems</i>
12	NOI	<i>Noise</i>
13	OTH	<i>Other</i>
14	OHE	<i>Overheating</i>
15	PDE	<i>Parameter deviation</i>
16	UST	<i>Spurious stop</i>
17	STD	<i>Structural deficiency</i>
18	UNK	<i>Unknown</i>
19	VIB	<i>Vibration</i>

4.2.4.2 Penentuan *Risk Priority Number* (RPN) dan Penyebab Kegagalan Sistem

Berdasarkan Tabel 4.6, Tabel 4.7, Tabel 4.8, didapatkan data mode kegagalan komponen dalam sistem *bow thruster*. Langkah selanjutnya menentukan RPN dari masing-masing komponen. RPN merupakan indicator kekrtitisan komponen dari mode kegagalan dalam sistem. Semakin kecil nilai RPN, semakin baik sistem tersebut. Penilaian atas RPN ini memungkinkan kita lebih memfokuskan pada penanganan mode kegagalan dibandingkan mode kegagalan lainnya. Penentuan RPN pada komponen – komponen di dalam sistem *bow thruster* pada kapal CB. X dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Berdasarkan analisa moda kegagalan dengan metode FMEA diketahui penyebab kegagalan dari masing-masing komponen dalam sistem *bow thruster*. Dari Tabel FMEA didapat beberapa kesimpulan antara lain sebagai berikut :

1. Pada beberapa komponen, kegagalan dapat diperbaiki dengan cara penggantian. Sedangkan pada komponen

- lainnya, kegagalan dapat diatasi dengan melakukan perbaikan saja.
2. Kegagalan pada suatu komponen bisa menimbulkan pengaruh pada sub-sistem, namun bisa juga tidak memberikan pengaruh pada sub-sistem. Sehingga, meskipun komponen tersebut gagal/rusak, komponen lain masih bisa beroperasi
 3. Kegagalan pada komponen dalam *sub-system power take off* akan menyebabkan kegagalan seluruh komponen untuk beroperasi, sehingga menyebabkan kegagalan dari sistem *bow thruster*.

Berdasarkan Tabel 4.5 didapatkan data nilai RPN masing – masing komponen dalam sistem *bow thruster*. Nilai RPN digunakan untuk menentukan komponen kritis. Yaitu komponen pada sebuah sistem yang jika gagal akan membuat peluang kegagalan sistem paling besar. Sehingga kekritisian komponen ditentukan berdasarkan komponen mana saja yang jika gagal akan memiliki pengaruh kepada sub-sistem. Semakin besar nilai RPN, maka nilai kekritisian komponen semakin besar sehingga komponen tersebut akan memungkinkan perawatan yang lebih sering dibanding komponen lainnya. Adapun komponen kritis dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Nilai RPN

No.	Nama Komponen	Severity	Remarks	RPN			
				Sev.	Occ.	Det.	RPN
1	PTO Gear pump	Cat. III	Major A	5	6	6	180
2	Hydraulic reservoir tank	Cat. III	Major A	3	4	2	24
2	10 mm filter	Cat. IV	Minor A	3	4	3	45
3	LAH	Cat. IV	Minor A	2	3	6	36
4	LAL	Cat. IV	Minor A	2	3	2	12

Dilanjutkan

Tabel 4.6 (lanjutan)

No.	Nama Komponen	Severity	Remarks	RPN			
5	Hydraulic line	Cat. III	Major A	3	2	4	24
6	Pressure relief valve	Cat. III	Major A	3	4	3	36
7	<i>bow thruster</i>	Cat. III	Major A	6	4	5	120
9	<i>Solenoid valve,</i>	Cat. III	Major A	5	4	4	80
10	<i>Joystick</i>	Cat. III	Major A	4	5	4	80
	<i>Hydraulic heat exchanger</i>	Cat. III	Major A	4	4	4	64
11	<i>Central cooler</i>	Cat. III	Minor A	4	4	4	64

Setelah menganalisa moda kegagalan dan menentukan besarnya *Risk Priority Number* (RPN) didapatkan penyebab kegagalan adalah komponen dengan nilai RPN terbesar sebagaimana Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Daftar Komponen yang Dianalisa

No.	Nama Komponen		Severity	Remarks	RPN			
					Sev	Occ	Det	RPN
1	PTO	<i>Gear</i>	Cat. III	Major A	5	6	6	180
	<i>pump</i>							
2	<i>bow thruster</i>		Cat. III	Major A	6	4	5	120
3	<i>Solenoid valve,</i>		Cat. III	Major A	5	4	4	80
4	<i>Joystick</i>		Cat. III	Major A	4	5	4	80
5	<i>Hydraulic heat exchanger</i>		Cat. III	Major A	4	4	4	64
6	<i>Central cooler</i>		Cat. III	Minor A	4	4	4	64

Dari komponen pada Tabel 4.7, dan ringkasan tabel FMEA pada Lampiran, didapatkan moda kegagalan yang mempengaruhi kinerja sistem dari *bow thruster* adalah sesuai Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Moda kegagalan yang mempengaruhi kinerja sistem *bow thruster*

No	Item Name	Failure Modes and Causes
		Mode
1	PTO Gear pump	<ul style="list-style-type: none"> - Kebocoran karena kerusakan pada <i>gasket</i>, <i>box bushing</i>, <i>rubber seal</i> dan <i>mechanical seal</i> - tersumbatnya saluran karena adanya kotoran
2	<i>bow thruster</i>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>breakdown</i> karena tidak ada pelumas dalam sistem, clutch tidak terhubung, maupun relief valve terbuka - <i>overheating</i> karena ada putaran terlalu cepat, tahanan dalam saluran pipa maupun <i>fouling</i> - adanya sampah dalam <i>tunnel</i>
3	<i>Solenoid valve</i> ,	<ul style="list-style-type: none"> - tidak beroperasi karena <i>valve</i> kotor, tegangan baterai rusak, pegas rusak - kebocoran karena adanya kotoran dan <i>screw</i> rusak - kebocoran internal karena o-ring rusak, valve kotor
4	<i>Joystick</i>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>joystick</i> tidak dapat menggerakkan <i>bow thruster</i> karena lever rusak - <i>Thruster</i> tidak bergerak ketika tuas/lever dioperasikan tidak ada pelumas - <i>Thruster</i> tidak bergerak ketika tuas/lever dioperasikan
5	<i>Hydraulic heat exchanger</i>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>overheating</i> aliran pendingin tersumbat
6	<i>Central cooler</i>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>overheating</i> karena <i>fouling</i>

Komponen – komponen pada tabel 4.7 memiliki nilai RPN yang besar hal ini disebabkan karena kerusakan pada komponen – komponen tersebut menyebabkan sistem *bow thruster* tidak dapat bekerja. Hal ini berbeda pada komponen – komponen lain dengan nilai RPN yang lebih rendah. Kerusakan atau kegagalan pada komponen – komponen dengan nilai RPN yang lebih rendah tidak memberikan efek secara langsung pada sistem *bow thruster*. Misalnya, kegagalan pada *PTO gear pump* akan menyebabkan kegagalan sirkulasi fluida hidrolik. Sehingga, *bow thruster* tidak dapat berputar. Akibatnya, komponen tersebut harus diperbaiki dengan biaya yang cukup besar. Disamping itu, juga akan terjadi *downtime* yang bila terjadi terlalu sering akan menyebabkan kerugian operasional. Hal ini berbeda dengan jika kegagalan terjadi pada *reservoir tank*, dimana bentuk kegagalannya adalah timbulnya rembesan atau kebocoran pada tanki. Rembesan tersebut tidak akan secara langsung menghentikan sistem untuk bekerja.

Dengan mempertimbangkan risiko kegagalan yang mungkin terjadi, maka dapat dilakukan pencegahan terjadinya kegagalan tersebut. Tindakan perawatan perlu dilakukan secara rutin. Adapun pemilihan interval perawatan berdasarkan pada biaya perawatan yang optimum. Pertimbangan perawatan ini menggunakan skenario keandalan minimum yang akan ditentukan dengan model *system dynamics*. Sedangkan perawatan yang bisa dilakukan antara lain sesuai pada Lampiran.

4.3. Distribusi Keandalan Komponen

Data yang digunakan untuk menganalisa keandalan ini adalah *failure rate* yang ada pada data primer berupa maintenance komponen *bow thruster*. Namun, pada beberapa item yang mana sangat jarang dilakukan perawatan dengan mempertimbangkan umur kapal yang masih muda, digunakan data sekunder dari OREDA dan NPRD. OREDA dan NPRD memberikan data laju kegagalan yang konstan seperti gambar di bawah ini :

Taxonomy no 1.3.3		Item Machinery Pumps Rotary									
Population 1	Installations 1	Aggregated time in service (10 ⁶ hours)						No of demands			
		Calendar time * 0.0351			Operational time † 0.0327						
Failure mode	No of failures	Failure rate (per 10 ⁶ hours)					Active rep.hrs	Repair (manhours)			
		Lower	Mean	Upper	SD	n/t		Min	Mean	Max	
Critical	14 [*]	241.34	399.27	624.12	399.27	399.27	7.7	2.0	14.1	52.0	
	14 [†]	258.50	427.66	668.50	427.66	427.66					
Breakdown	3 [*]	23.39	85.56	221.17	85.56	85.56	15.0	19.0	30.0	52.0	
	3 [†]	25.05	91.64	236.90	91.64	91.64					
Fail to start on demand	1 [*]	1.43	28.52	135.32	28.52	28.52	2.0	2.0	2.0	2.0	
	1 [†]	1.53	30.55	144.95	30.55	30.55					
Low output	2 [*]	10.12	57.04	179.53	57.04	57.04	10.0	9.0	20.0	31.0	
	2 [†]	10.84	61.09	192.30	61.09	61.09					
Parameter deviation	1 [*]	1.43	28.52	135.32	28.52	28.52	2.0	2.0	2.0	2.0	
	1 [†]	1.53	30.55	144.95	30.55	30.55					
Spurious stop	3 [*]	23.39	85.56	221.17	85.56	85.56	5.0	5.0	5.0	5.0	
	3 [†]	25.05	91.64	236.90	91.64	91.64					
Structural deficiency	4 [*]	38.93	114.08	261.09	114.08	114.08	6.0	5.0	12.0	20.0	
	4 [†]	41.70	122.19	279.66	122.19	122.19					
Degraded	6 [*]	74.58	171.12	337.67	171.12	171.12	3.5	3.0	5.3	10.0	
	6 [†]	79.88	183.28	361.68	183.28	183.28					
External leakage - Process medium	1 [*]	1.43	28.52	135.32	28.52	28.52	3.0	3.0	3.0	3.0	
	1 [†]	1.53	30.55	144.95	30.55	30.55					
External leakage - Utility medium	3 [*]	23.39	85.56	221.17	85.56	85.56	3.0	3.0	3.7	4.0	
	3 [†]	25.05	91.64	236.90	91.64	91.64					
Low output	1 [*]	1.43	28.52	135.32	28.52	28.52	4.0	8.0	8.0	8.0	
	1 [†]	1.53	30.55	144.95	30.55	30.55					
Vibration	1 [*]	1.43	28.52	135.32	28.52	28.52	5.0	10.0	10.0	10.0	
	1 [†]	1.53	30.55	144.95	30.55	30.55					
Incipient	16 [*]	286.18	456.31	692.99	456.31	456.31	3.0	1.0	3.0	5.0	
	16 [†]	306.53	488.76	742.27	488.76	488.76					
Abnormal instrument reading	8 [*]	113.51	228.15	411.68	228.15	228.15	2.7	1.0	2.7	5.0	
	8 [†]	121.58	244.38	440.95	244.38	244.38					
Minor in-service problems	6 [*]	74.58	171.12	337.67	171.12	171.12	3.3	2.0	3.3	4.0	
	6 [†]	79.88	183.28	361.68	183.28	183.28					
Structural deficiency	2 [*]	10.12	57.04	179.53	57.04	57.04	3.0	2.0	3.0	4.0	
	2 [†]	10.84	61.09	192.30	61.09	61.09					
All modes	36 [*]	762.33	1026.69	1355.81	1026.69	1026.69	5.0	1.0	7.8	52.0	
	36 [†]	816.54	1099.71	1452.23	1099.71	1099.71					
Comments											

Gambar 4.10 Laju Kegagalan dalam OREDA 2002

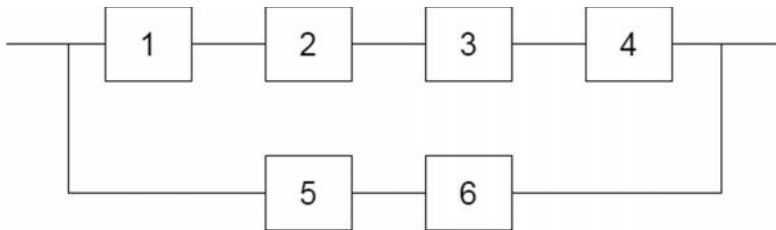
Gambar di atas merupakan cara mencari nilai laju kegagalan *gear pump* yang digunakan sebagai PTO. Data laju kegagalan ini diolah menjadi MTTF komponen dimana nilai MTTF ini adalah konstan. MTTF komponen digunakan sebagai acuan untuk mengetahui perbandingan kerusakan antara satu komponen dengan komponen lain.

4.3.1. Analisa Keandalan Komponen

Data keandalan komponen didapatkan dari OREDA dan NPRD. Untuk melakukan analisa keandalan komponen, laju kegagalan didasarkan pada identifikasi moda kegagalan pada table FMEA. Adanya *routine maintenance* memungkinkan beberapa moda kegagalan dapat terdeteksi lebih awal sehingga dapat dapat dicegah. Hal ini menyebabkan pengurangan laju kegagalan sebagaimana Tabel 4.8, Tabel 4.9, Tabel 4.10, Tabel 4.11, Tabel 4.12, dan Tabel 4.13.

Berdasarkan nilai RPN pada *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), didapatkan enam komponen dalam sistem *bow thruster* yang akan dimodelkan dengan menggunakan *system dynamics* sebagaimana Gambar 4.11. Adapun komponen yang terdapat dalam *functional block diagram* adalah sebagai berikut :

1. *PTO gear pump*
2. *Joystick*
3. *Solenoid valve*
4. *Bow thruster*
5. *Hydraulic heat exchanger*
6. *Central cooler*



Gambar 4.11. Diagram blok sistem *bow thruster*

Berdasarkan *functional block diagram* tersebut, untuk menghitung keandalan sistem digunakan persamaan sebagai berikut :

$$R_p = 1 - (1 - R_{s1})(1 - R_{s2})$$

$$R_p = 1 - (1 - R_1 R_2 R_3 R_4)(1 - R_5 R_6)$$

Sedangkan penjadwalan perawatan komponen dalam sistem dinamik ini berdasarkan data moda kegagalan pada tabel FMEA yang telah dibuat sebelumnya.

Tabel 4.9. *Failure rate pada Power take off*

<i>PTO Pump (Main power)</i>					
<i>Failure Mode</i>	<i>%</i>	<i>No. of failure</i>	<i>Operational Time</i>		<i>repair hours</i>
BRD	8,33	3	32700	0,0000916	24
ELP	2,78	1	32700	0,0000306	
ELU	8,33	3	32700	0,0000251	
FTS	2,78	1	32700	0,0000306	
LOO	8,33	1	32700	0,0000611	
VIB	2,78	1	32700	0,0000306	
GRAND TOTAL OF				0,000269	24

Tabel 4.10. *Failure rate pada hydraulic heat exchanger*

<i>Hydraulic heat exchanger</i>					
<i>Failure Mode</i>	<i>%</i>	<i>No. of failure</i>	<i>Operational Time</i>		<i>repair hours</i>
AIR	13,68	1	1635700	0,0000007	24
ELP	8,02	7	1635700	0,0000051	
ELU	5,19	2	1635700	0,0000015	
IHT	13,68	2	1635700	0,0000010	
INL	1,42	2	1635700	0,0000013	
PDE	9,91	4	1635700	0,0000024	
PLU	5,19	9	1635700	0,0000006	
STD	9,43	10	1635700	0,0000048	
GRAND TOTAL OF				0,0000174	

Tabel 4.11. *Failure rate pada cooling system*

<i>Central cooler</i>					
<i>Failure Mode</i>	<i>%</i>	<i>No. of failure</i>	<i>Operational Time</i>		<i>repair hours</i>
ELP	18,75	2	255300	0,00000986	1
ELU	15,63	1	255300	0,00000451	1
PDE	12,5	1	255300	0,00000451	11
INL	9,38	1	255300	0,00000348	10
GRAND TOTAL OF				0,0000224	23

Tabel 4.12. *Failure rate pada joystick*

<i>Joystick</i>					
<i>Failure Mode</i>	<i>%</i>	<i>No. of failure</i>	<i>Operational Time</i>		<i>repair hours</i>
OTH	100	1	138100	0,0000145	23
GRAND TOTAL OF				0,0000145	23

Tabel 4.13. *Failure rate pada solenoid valve*

Solenoid valve			
Failure Mode	Operational Time		repair hours
OTH	853100	0,0000012	5
GRAND TOTAL OF		0,0000012	5

Tabel 4.14. *Failure rate pada bow thruster*

<i>Bow Thruster</i>					
<i>Failure Mode</i>	<i>%</i>	<i>No. of failure</i>	<i>Operational Time</i>		<i>repair hours</i>
OTH	100	2	2200	0,0000909091	35
GRAND TOTAL OF				0,0000909091	35

4.3.2. Penjadwalan Perawatan Kapal Sebelumnya

Penjadwalan perawatan sebelumnya berdasarkan pada *planned maintenance system*. Namun, beberapa komponen dalam

bow thruster system ini tidak dimasukkan ke dalam *planned maintenance system* tersebut. Untuk itu, dalam model yang akan dibuat, semua komponen dengan nilai *risk priority number* yang tinggi berdasarkan hasil FMEA akan dimodelkan. Sedangkan pertimbangan perawatan lainnya adalah jadwal *docking* tahunan. Sehingga, penjadwalan perawatan juga akan disesuaikan dengan jadwal *docking* sesuai Tabel 4.15.

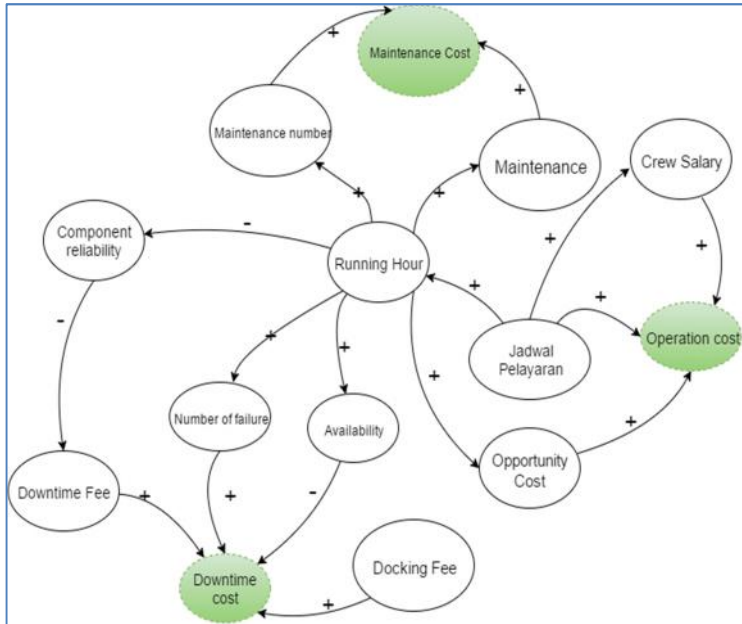
Tabel 4.15. Jadwal survey tahunan

No.	Keterangan	Tanggal
1	Sertifikasi Klasifikasi Lambung dan Mesin	31 Desember 2016
2	Sertifikasi Klasifikasi Lambung dan Mesin	31 Desember 2017
4	Sertifikasi Klasifikasi Lambung dan Mesin	31 Desember 2018
5	Sertifikasi Klasifikasi Lambung dan Mesin	31 Desember 2019

4.4. System Dynamics

System dynamics modeling digunakan untuk menentukan jadwal perawatan komponen yang berkaitan dengan nilai keandalan. Pada simulasi ini perlu dibuat hubungan sebab – akibat pola operasi atau *causal loop diagram* sesuai Gambar 4.12 dan Gambar 4.13.

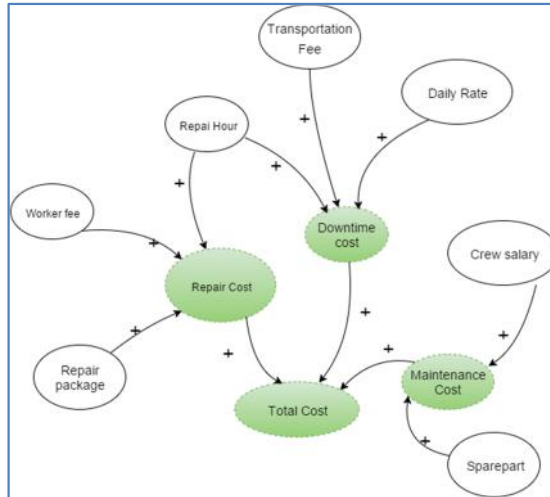
Berdasarkan gambar hubungan sebab-akibat tersebut, biaya perawatan akan timbul jika terjadi perawatan. Perawatan ditimbulkan akibat adanya penurunan keandalan komponen akibat dari jam pengoperasian sistem *bow thruster*. Jika tidak dilakukan perawatan, sistem akan mengalami kegagalan yang berpotensi mengakibatkan *downtime*. *Downtime* yang semakin lama menyebabkan bertambahnya biaya *downtime*. Untuk mencegah terjadinya *downtime*, dilakukan prosedur perawatan. Dengan semakin bertambahnya prosedur perawatan, maka ketersediaan komponen semakin berkurang. Komponen penentu ketersediaan komponen adalah waktu *downtime* dan waktu perawatan.



Gambar 4.12. *Causal loop diagram* hubungan waktu operasi kapal dengan biaya perawatan

Berdasarkan Gambar 4.12, *operation cost* dipengaruhi oleh *opportunity cost*, jadwal pelayaran, dan gaji *crew*. Namun dalam laporan ini, *operation cost* tidak dihitung karena perhitungan perawatan sudah mempertimbangkan kemungkinan terjadinya *downtime*.

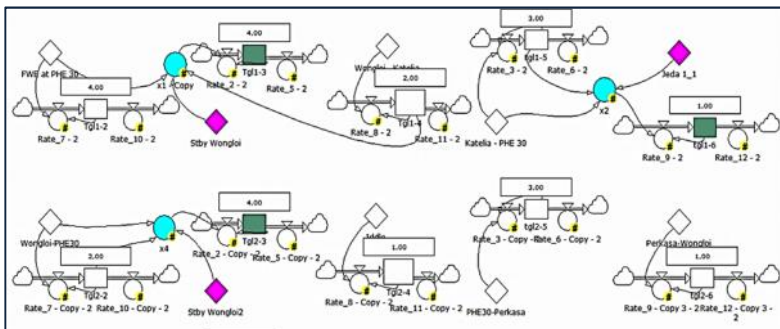
Komponen biaya terdiri dari biaya perawatan, biaya *downtime*, dan biaya operasional. Biaya perawatan terdiri dari biaya penggantian *sparepart*, *man hour*, lama perawatan, juga gaji pegawai dan biaya transportasi. Hal ini terjadi jika maintenance tidak dilakukan di kapal, tapi harus dilakukan di galangan. Apabila terjadi *downtime*, biaya yang ditimbulkan juga diakibatkan oleh adanya biaya untuk menyewa kapal pengganti. Sementara biaya operasi dianggap terdiri dari biaya crew, mengingat bahan bakar tidak disediakan oleh pemilik dan operator kapal.



Gambar 4.13. *Causal Loop Diagram* Komponen Biaya

4.4.1. Pembuatan Model

Pembuatan model pola pelayaran kapal berdasarkan data pengoperasian kapal selama satu bulan. Dalam hal ini, digunakan data pelayaran pada bulan Februari 2015. Gambar 4.14 berikut ini adalah model pola pelayaran kapal dengan menggunakan *system dynamics*.



Gambar 4.14. Model jadwal pelayaran kapal dan pengoperasian *bow thruster*

Dalam pembuatan model pola pelayaran ini ada beberapa pertimbangan penjadwalan di antaranya adalah sebagai berikut :

1. Nilai sewa kapal per hari adalah Rp 50.000.000. Jika terjadi kegagalan atau dilakukan perawatan pada suatu komponen sehingga salah satu sistem tidak beroperasi, namun kapal masih bisa berjalan, maka akan diberlakukan *breakdown cost* sebesar 2,5% dari nilai sewa.
2. Pembuatan model berdasarkan jadwal survey tahunan. Adapun perencanaan jadwal survey tahunan adalah sesuai Tabel 4.15.
3. Setiap interval tertentu dilakukan *maintenance* rutin pada masing-masing komponen. Dalam hal ini, dengan mempertimbangkan besarnya laju kegagalan, maka direncanakan *preventive maintenance* pada masing-masing komponen yang dianalisa sebagai berikut :

Tabel 4.16. Daftar biaya perawatan periodik (*preventive maintenance*)

No.	Nama Komponen	Biaya per perawatan (Rp)	Keterangan
1	PTO <i>Gear pump</i>	150.000	Penggantian filter tiap 100 jam
		100.000	Perawatan rutin
2	<i>Hydraulic heat exchanger</i>	50.000	Perawatan rutin dan pembersihan
3	<i>Central cooler</i>	100.000	Perawatan rutin dan pembersihan
4	<i>Joystick</i>	50.000	Pengecekan sebelum kapal sandar dan mesin dimatikan. Pelumasan rutin
5	<i>Solenoid valve</i>	200.000	Pembersihan dan penggantian komponen
6	<i>Bow thruster</i>	-	Pengecekan putaran <i>bow thruster</i> secara rutin
		-	Pembersihan tunnel <i>thruster</i> .
		4.000.000	Pengecatan tunnel

Sumber : Perhitungan perawatan rutin PT. Orela Bahari

Tabel 4.17. Daftar paket perawatan korektif

No.	Nama Komponen	Biaya
		Perawatan/Penggantian
1	<i>PTO Gear pump</i>	5000.000
2	<i>Hydraulic heat exchanger</i>	2.500.000
3	<i>Central cooler</i>	3.000.000
4	<i>Joystick</i>	10.093.860
5	<i>Solenoid valve</i>	750.000
6	<i>Bow thruster</i>	8.000.000

Sumber : Data paket perawatan *bow thruster* PT. Orela Bahari

4.4.2. Pola Perawatan Komponen *Power take off*

Berdasarkan data nilai λ dari OREDA didapatkan model pola operasi sesuai Gambar 4.15. Berdasarkan model *causal loop* dinamika sistem, dilakukan perhitungan lama operasi komponen berdasarkan nilai keandalan minimum. Untuk laju kegagalan $\lambda_{PTO} = 0,000269$.

1. Kegagalan komponen *power take off* menyebabkan sistem tidak bekerja sehingga menyebabkan *downtime*. Adapun nilai *downtime* adalah senilai *downtime cost* (C_{d0}) yaitu 2,5% dari nilai nilai charter per hari sebesar Rp 50.000.000,00 per *downtime*.
2. *Routine maintenance* yang dilakukan meliputi pelumasan, pembersihan, pemeriksaan komponen dan penggantian *sparepart* bila ada yang aus. Adapun budget routine maintenance ini sebesar Rp 100.000,00/100 jam dan termasuk *maintenance cost* (C_{m0}).
3. Besar biaya yang ditimbulkan akibat *routine maintenance* adalah Rp 150.000,00 setiap 200 jam dan termasuk ke dalam biaya *maintenance cost* (C_{m1}).
4. Perbaikan pompa dilakukan di galangan sehingga terdapat biaya bahan bakar yang termasuk dalam biaya maintenance atau sebesar Rp 1400.000,00 dan termasuk kedalam *downtime cost* (C_{d1}).
5. Besarnya paket perbaikan *power take off* adalah Rp 5.000.000,00 dan termasuk ke dalam *downtime cost* (C_{d2})

6. *Power take off* digerakkan oleh *main engine* dimana bahan bakar tidak termasuk ke dalam biaya operasional atau *Running cost* (C_r) sehingga nilai *Running cost* (C_r) adalah Rp 0,00.
7. Biaya yang dikeluarkan untuk melakukan perawatan dalam hal ini disebut biaya total atau *Total Cost* (C_T) dimana besarnya *Total Cost* (C_T) sesuai persamaan 2.10.
8. Data perbaikan yang didapatkan adalah pada waktu operasi {4159 jam; 8557 jam; 14294 jam}.

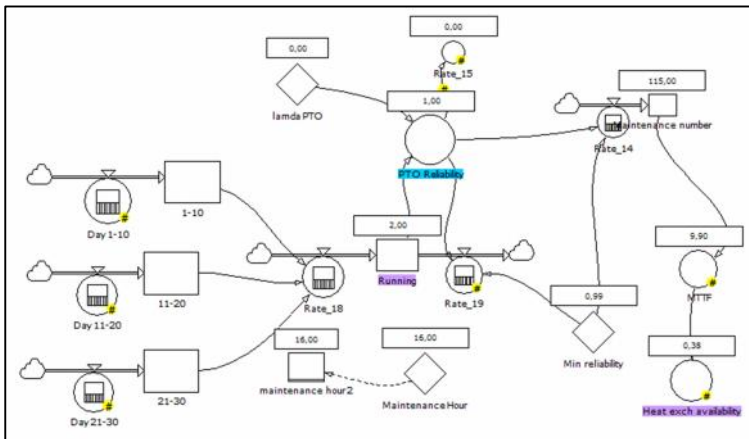
Dengan pertimbangan – pertimbangan tersebut di atas, didapatkan perhitungan biaya dengan memperhatikan total biaya perawatan adalah sebagai berikut :

$$C_T = C_r + C_m + C_d$$

Dimana : $C_m = C_{m0} + C_{m1}$

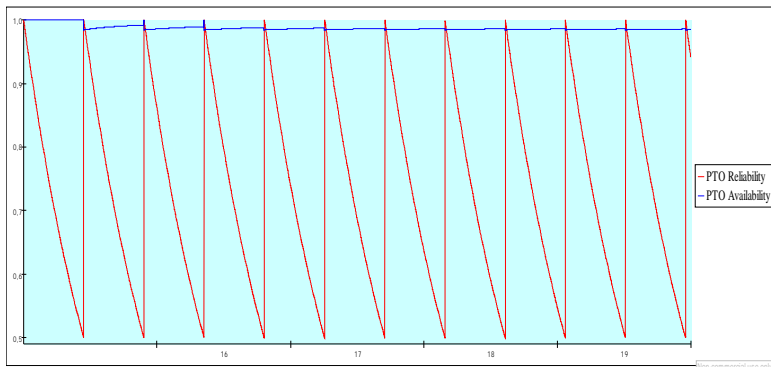
$$C_d = C_{d0} + C_{d1} + C_{d2}$$

Untuk membuat simulasi hubungan antara keandalan, ketersediaan dan biaya, skenario dibuat pada *minimum reliability* antara 0,20 – 0,97. Setelah membuat model, maka didapatkan biaya total perawatan selama tiga tahun sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.18..

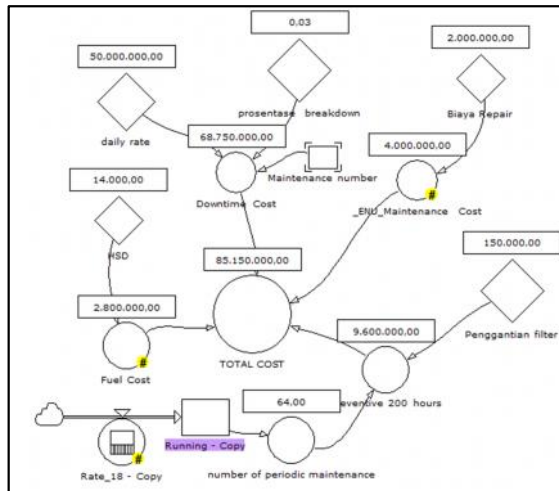


Gambar 4.15. Model pola operasi dan perawatan pada *gear pump*

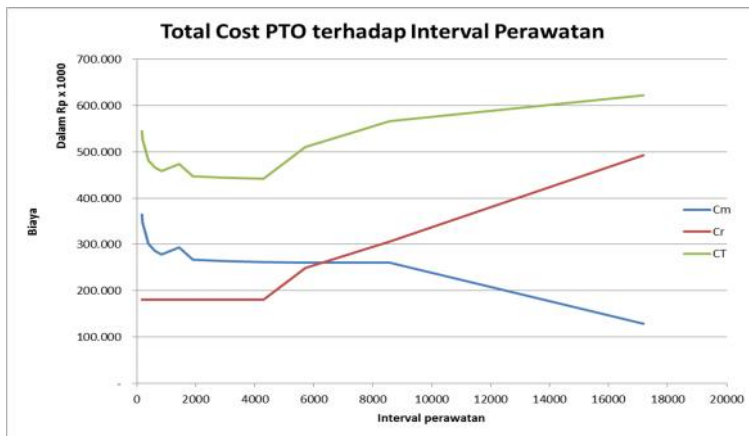
Berdasarkan model pada dinamika sistem sebagaimana Tabel 4.14, dapat disimpulkan bahwa dengan keandalan yang semakin kecil, ketersediaan akan semakin besar. Semakin kecil nilai keandalan, maka biaya perawatan yang dibutuhkan akan semakin kecil. Namun, hal ini akan memperbesar kemungkinan terjadinya *downtime*. Untuk itu, perlu dipertimbangkan nilai keandalan komponen, yang memberikan peluang kecil terjadinya kegagalan namun tetap menghasilkan pembiayaan yang minimum. Detail pembuatan model perhitungan pembiayaan perawatan dan perbaikan dengan memperhatikan *downtime* dan bahan bakar yang harus dikeluarkan selama perbaikan dapat dilihat pada Gambar 4.17. Selanjutnya, dibuat skenario perawatan pada keandalan 0,1 – 0,9. Hasil model tersebut selanjutnya dicatat, sebagaimana tabel Lampiran Perhitungan Biaya Perawatan dan Perbaikan pada interval waktu yang berbeda – beda. Jika dibuat grafik, perhitungan biaya total selama tiga tahun dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.16. Grafik interval perawatan komponen PTO *Gear pump* dengan $\lambda_{PTO} = 0,000269$



Gambar 4.17. Model perhitungan pola perawatan *power take off* (PTO *gear pump*)



Gambar 4.18. Grafik biaya perawatan untuk operasi PTO *gear pump* pada interval waktu yang berbeda

Dari Gambar 4.18, didapatkan biaya perawatan paling kecil terdapat pada nilai keandalan 0,35 dengan biaya perawatan dan perbaikan selama tiga tahun sebesar Rp 44.222.247,00. Besarnya *availability* pada indeks *reliability* 0,35 adalah

0,995930. Pada indeks *reliability* 0,35 didapatkan interval perawatan adalah setiap 3902 jam. Adapun interval yang memberikan biaya perawatan lebih rendah lainnya adalah pada *reliability* 0,5 dengan interval 2862,3 jam. Biaya yang ditimbulkan akibat interval ini adalah Rp 44.422.247,00.

Karena biaya yang ditimbulkan tidak terlalu banyak, maka dibuat simulasi perawatan pada interval 3902 jam dan 2572,3 jam selama 20 tahun. Setelah dibuat model pada Powersim, didapat total biaya selama operasi sebagai berikut:

Tabel 4.18. Perbandingan biaya perawatan dan perbaikan komponen PTO *gear pump*

No.	Deskripsi	Simulasi 1	Simulasi 2
1	<i>Reliability</i>	0,5	0,35
2	<i>Availability</i>	0,9265	0,995964
3	Interval	2572 jam	3902 jam
4	Perawatan (C_m)	Rp 176.150.000	Rp 174.650.000
5	Perbaikan $= C_{d1} + C_{d2} + C_{d3}$	Rp 120.158.458	Rp 120.156.359
6	$CT = C_m + C_d$	Rp 296.308.458	Rp 294.807.408

Berdasarkan Tabel 4.16, mengingat hasil yang tidak signifikan, diambil jadwal perawatan selama interval 2572 jam. Karena penjadwalan perawatan harus memperhatikan jadwal *docking*, maka jika jadwal perawatan rutin mendekati jadwal *docking*, maka waktu perawatan adalah waktu *docking*. Sehingga jadwal perawatan adalah sesuai dengan Tabel 4.19.

Tabel 4.19. Penjadwalan perawatan PTO *pump* selama 5 tahun

No.	Date	TTF (jam)	TTR (jam)	Ket.	Lokasi
1	07 Juni 2016	2574	24	Perawatan rutin	<i>On board</i>
2	31 Desember 2016	2574	40	<i>Docking</i> tahunan	<i>shipyard</i>
3	30 Juni 2017	2576	24	Perawatan rutin	<i>On board</i>
4	31 Desember 2017	2581	40	<i>Docking</i> tahunan	<i>shipyard</i>

Dilanjutkan

Tabel 4.19 (lanjutan)

No.	Date	TTF	TTR (hr)	Ket.	Lokasi
5	17 Juni 2018	2579	24	Perawatan rutin	<i>On board</i>
6	31 Desember 2018	2578	40	<i>Docking</i> tahunan	<i>shipyard</i>
7	17 Juni 2018	2586	24	Perawatan rutin	<i>On board</i>
8	31 Desember 2018	2579	40	<i>Docking</i> tahunan	<i>shipyard</i>
9	17 Juni 2019	2574	24	Perawatan rutin	<i>On board</i>
10	31 Desember 2019	2577	40	<i>Docking</i> tahunan	<i>shipyard</i>

Perawatan rutin pada komponen *power take off* ini meliputi :

1. Penggantian filter setiap 100 jam sekali, sehingga dalam satu interval perawatan filter yang diganti sebanyak 25 unit.
2. Setiap mencapai minimum reliability, dilakukan perawatan meliputi :
 - Pemeriksaan kebocoran fluida
 - Pembersihan dari kotoran, karat, dan adanya saluran yang tersumbat
 - Penggantian seal jika dirasa sudah aus
 - Pemeriksaan part dalam pompa

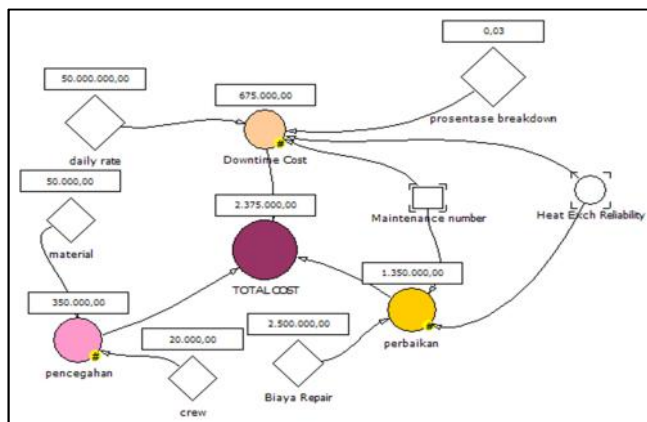
Sehingga, dengan memperhatikan kemungkinan terjadinya kerusakan pada bagian-bagian *power take off*, dilakukan perbaikan – perbaikan sebagai berikut :

Tabel 4.20. Rincian perawatan *power take off*

No.	Moda Kegagalan	Tindakan yang dilakukan
1	Kebocoran fluida di sisi luar	<ul style="list-style-type: none"> - Jika gasket rusak, mengganti seal yang telah aus baik pada roda gigi, seal luar, maupun poros pompa - Jika <i>packing box bushing</i> rusak, memperbaiki bagian <i>packing box bushing</i> yang rusak.
2	<i>Suction line</i> tersumbat	<ul style="list-style-type: none"> - Membersihkan <i>suction line</i>
3	Misalignment pompa dan <i>gearbox</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Melakukan <i>readjusment</i>

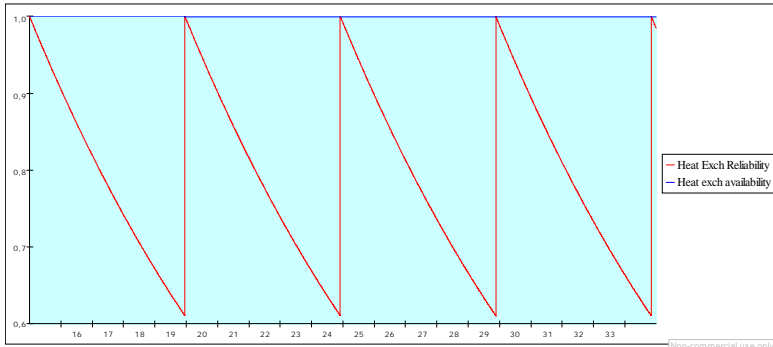
4.4.3. Pola Perawatan Komponen *Hydraulic heat exchanger*

Komponen yang dianalisa selanjutnya adalah *hydraulic heat exchanger*. Model pola operasi pada komponen ini pada dasarnya tidak berbeda jauh dengan model operasi komponen sebelumnya. Berdasarkan data, diperoleh nilai laju keandalan adalah $1,74 \times 10^5$. Selanjutnya dilakukan perhitungan biaya dengan pola sesuai Gambar 4.19. Sesuai causal loop pada model dinamika sistem didapatkan grafik keandalan dan ketersediaan selama lima tahun sesuai Gambar 4.20.



Gambar 4.19. Komponen biaya *hydraulic heat exchanger*

Pada Gambar 4.19, dapat ditunjukkan komponen yang mempengaruhi biaya operasional adalah biaya perawatan, biaya perbaikan, dan biaya *downtime*. Pada pola operasi *hydraulic heat exchanger* tidak ditambahkan komponen bahan bakar karena mempertimbangkan bahwa apabila terjadi kerusakan, maka perbaikan dapat dilakukan setelah kapal sandar dan tidak harus dibawa ke galangan. Karena laju kegagalan relative kecil, maka simulasi dilakukan selama sepuluh tahun.



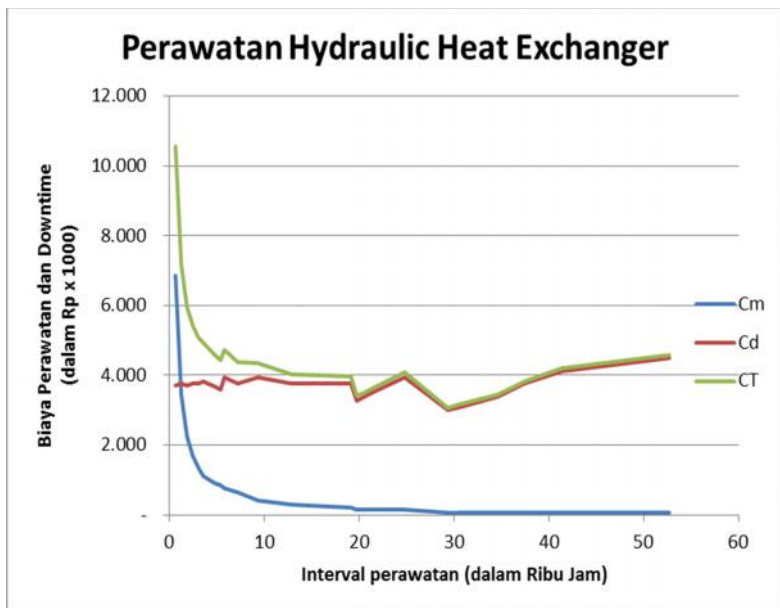
Gambar 4.20. Grafik keadaan terhadap waktu selama 20 tahun pada komponen *heat exchanger*

Setelah melakukan simulasi jadwal perawatan *hydraulic heat exchanger*, langkah selanjutnya adalah menentukan besarnya biaya perawatan. Dalam hal ini, faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya biaya adalah sebagai berikut :

1. Kegagalan komponen *hydraulic heat exchanger* menyebabkan sistem tidak bekerja sehingga menyebabkan *downtime*. Adapun nilai *downtime* adalah senilai *downtime cost* (C_{d1}) yaitu 2,5% dari nilai nilai charter per hari sebesar Rp 50.000.000,00 per hari.
2. PErawatan meliputi biaya pengadaan material dan crew sebesar Rp 50.000,00 dan Rp 20.000,00.
3. Besarnya paket perbaikan *hydraulic heat exchanger* adalah Rp 2.500.000,00 dan termasuk ke dalam *downtime cost* (C_{d2})
4. *Hydraulic heat exchanger* menggunakan tenaga listrik dari auxiliary engine yang menggunakan bahan bakar HSD. Bahan bakar tidak termasuk ke dalam biaya operasional atau *Running cost* (C_r) karena disediakan oleh penyewa sehingga nilai *Running cost* (C_r) adalah Rp 0,00.
5. Waktu perawatan dan perbaikan diambil 40 jam dengan pertimbangan waktu transportasi dari wilayah operasi ke galangan adalah 8 jam (pulang pergi), waktu persiapan perawatan atau logistik adalah 8 jam, waktu perawatan berdasarkan buku *Guide to Ship Repair Estimate* yang ditulis

oleh Don Butler adalah 24 jam. Sehingga total perawatan adalah 40 jam.

Biaya yang dikeluarkan untuk melakukan perawatan atau disebut juga biaya total atau *Total Cost* (C_T) dimana besarnya *Total Cost* (C_T) sesuai persamaan 2.10. Sehingga model biaya perawatan *hydraulic heat exchanger* sesuai dengan Gambar 4.19. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, didapatkan grafik hubungan antara interval perawatan dengan biaya yang telah dikeluarkan.



Gambar 4.21. Grafik hubungan antara interval dengan biaya perawatan pada *hydraulic heat exchanger* selama sepuluh tahun

Dengan memperhatikan grafik pada Gambar 4.20, didapatkan biaya minimum perawatan adalah pada interval perawatan 29360 jam dengan biaya perawatan sebesar Rp 3.070.000,00 per sepuluh tahun atau Rp 6.140.000,00 setelah 20 tahun. Langkah selanjutnya adalah membuat jadwal perawatan

hydraulic heat exchanger. Namun, waktu yang digunakan untuk setiap interval yang berbeda – beda dapat dilihat pada Lampiran. Dengan memperhatikan simulasi biaya perawatan dilakukan penjadwalan perawatan selama 5 tahun dari tanggal 5 Januari 2016 sebagai berikut :

Tabel 4.21. Tabel prediksi perbaikan *hydraulic heat exchanger*

No.	Tanggal Perbaikan	Selesai	TTF (jam)	TTR (jam)
1	31 Desember 2020	1 Januari 2021	29239	40

Berdasarkan pertimbangan perawatan tersebut di atas, dilakukan juga tindakan perawatan dan perbaikan yang dilakukan berdasarkan masing – masing moda kegagalan. Adapun tindakan perbaikan tersebut antara lain adalah sebagai berikut :

Tabel 4.22. Tabel rincian perbaikan *hydraulic heat exchanger*

No.	Moda Kegagalan	Tindakan Perbaikan
1	<i>Overheating</i>	Jika terjadi akibat tersumbatnya saluran air tawar menuju <i>heat exchanger</i> , maka dapat diperbaiki dengan melakukan pembersihan saluran. Tindakan ini memerlukan overhaul sehingga dilakukan di galangan.
2	<i>Pressure drop</i>	Jika terjadi akibat adanya korosi pada pipa, dapat diperbaiki dengan mengganti pipa yang mengalami korosi. Jika terjadi akibat kerusakan gasket, maka dapat diperbaiki dengan mengganti gasket yang rusak. Jika <i>pressure drop</i> terjadi akibat adanya kebocoran fluida bertekanan tinggi, perbaikan dilakukan dengan mengganti <i>seal</i> pada <i>relief valve</i> .

Di sisi lain, perawatan secara rutin tetap harus mempertimbangkan jadwal *docking* tahunan. Sehingga, penjadwalan perawatan rutin yang dapat dilakukan sesuai Tabel 4.23. Pada Tabel 4.23, perawatan rutin tahunan dilaksanakan

dengan interval rata – rata (MTTF) 5710 jam dengan minimum reliability 0,91. Karena perawatan dilakukan pada saat *docking*, maka perhitungan biaya perawatan sudah termasuk paket *annual docking*.

Tabel 4.23. Tabel perawatan rutin tahunan *hydraulic heat exchanger* selama lima tahun

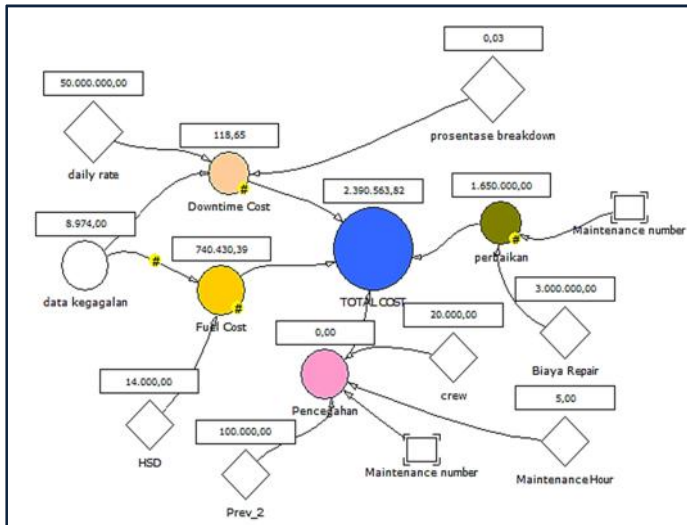
No.	Mulai Perawatan		Interval Durasi		Action taken
		Selesai Perawatan	(jam)	(jam)	
1	01/01/2016 5:00	02/01/2016 21:00	5710	24	Annual docking
2	01/01/2017 5:00	02/01/2017 21:00	5724	24	Annual docking
3	01/01/2018 5:00	02/01/2018 21:00	5716	24	Annual docking
4	31/12/2019 5:00	01/01/2020 21:00	5715	24	Annual docking
5	31/12/2020 5:00	01/01/2021 21:00	5710	24	Annual docking

Perawatan *hydraulic heat exchanger* pada saat *annual docking* meliputi :

1. *Overhaul*, membuka penutup luar dan membersihkan saringan air
2. Pengecekan tekanan hidraulik
3. Pengecatan bagian – bagian yang korosi

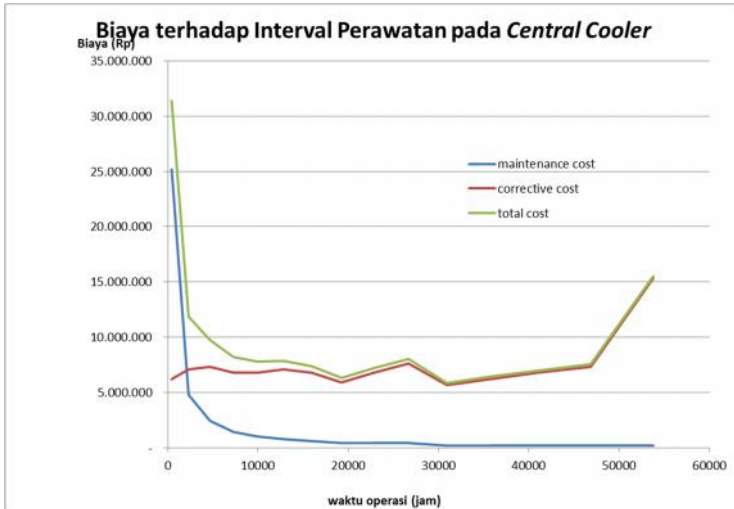
4.4.4. Pola Perawatan *Central cooler*

Komponen yang selanjutnya dirawat adalah *central cooler*. Komponen ini merupakan sistem pendingin yang juga mendinginkan sistem-sistem dan komponen lainnya. Kegagalan dari komponen ini tidak mempengaruhi kegagalan *bow thruster system*, namun bisa berpengaruh terhadap sistem lainnya yang juga mempengaruhi operasi sistem *bow thruster*. Untuk itu, diperlukan perawatan terhadap *central cooler*. Pola perawatan pada *central cooler* dapat disimulasikan dengan menggunakan Powersim untuk durasi 10 tahun.



Gambar 4.22. Pola biaya perawatan pada *central cooler*

Pada Gambar 4.22, dapat ditunjukkan komponen yang mempengaruhi biaya operasional adalah biaya perawatan, biaya perbaikan, bahan bakar, dan biaya *downtime*.. Karena laju kegagalan relatif kecil, maka simulasi dilakukan selama sepuluh tahun. Berdasarkan pola perawatan pada Gambar 4.22 didapatkan grafik biaya perawatan sesuai Gambar 4.23. Sedangkan detail perhitungan ada pada Lampiran. Dalam laporan ini, skenario dalam simulasi menggunakan indeks keandalan yang berbeda-beda dan disimulasikan dengan rentang waktu sepuluh tahun tersebut. Selanjutnya, hasil simulasi biaya dicatat sesuai tabel pada Lampiran, dan membuat grafik hubungan interval perawatan dengan biaya sesuai Gambar 4.23. Interval perawatan yang dipilih adalah yang menghasilkan besaran biaya paling kecil. Namun, tetap harus memperhatikan indeks keandalan. Indeks keandalan dipilih yang tidak terlalu kecil untuk memperkecil peluang kegagalan.



Gambar 4.23. Grafik hubungan antara interval dengan biaya perawatan pada *central cooler* selama sepuluh tahun

Berdasarkan Gambar 4.23 didapatkan biaya perawatan minimum ada pada interval 30948 jam. Dengan interval perawatan tersebut, keandalan komponen sebesar 0,5 dan ketersediaan sebesar 0,999505. Pada dasarnya, besarnya peluang ketersediaan tidak terlalu berbeda jauh pada tiap – tiap interval. Namun, pada interval berikut ini biaya perawatan lebih kecil dari interval lainnya. Besarnya biaya perawatan selama operasi 20 tahun adalah sebesar Rp 11.900.000,00. Berdasarkan Gambar 4.23 dibuatkan penjadwalan perawatan untuk waktu operasi lima tahun dari tanggal 1 Januari 2016. Jadwal perawatan adalah sesuai Tabel 4.24.

Tabel 4.24. Tabel jadwal perawatan *central cooler*

No	Mulai	Selesai	TTF	TTR
1	31 Desember 2020	1 Januari 2021	30948	40

Berdasarkan pertimbangan perawatan tersebut di atas, dilakukan juga tindakan perawatan dan perbaikan yang dilakukan

berdasarkan masing – masing moda kegagalan. Adapun tindakan perbaikan tersebut antara lain adalah sebagai berikut :

Tabel 4.25. Tabel rincian perbaikan *central cooler*

No.	Moda Kegagalan	Tindakan Perbaikan
1	<i>Overheating</i>	Jika terjadi akibat tersumbatnya saluran air tawar menuju <i>heat exchanger</i> , maka dapat diperbaiki dengan melakukan pembersihan saluran. Tindakan ini memerlukan overhaul sehingga dilakukan di galangan.
2	<i>Pressure drop</i>	Jika terjadi akibat adanya korosi pada pipa, dapat diperbaiki dengan mengganti pipa yang mengalami korosi. Jika terjadi akibat kerusakan gasket, maka dapat diperbaiki dengan mengganti gasket yang rusak. Jika <i>pressure drop</i> terjadi akibat adanya kebocoran fluida bertekanan tinggi, perbaikan dilakukan dengan mengganti <i>seal</i> pada <i>relief valve</i> .
4	<i>Fouling</i>	Melakukan pembersihan secara kimia untuk melarutkan biota laut yang menempel
5	<i>Corrosion</i>	Pengecatan ulang dan penggantian <i>zinc anode</i> pada sisi primer

Di samping perawatan korektif baik perbaikan maupun penggantian komponen, perawatan preventif secara rutin tetap harus mempertimbangkan jadwal *docking* tahunan. Sehingga, penjadwalan perawatan rutin yang dapat dilakukan sesuai Tabel 4.26.

Tabel 4.26. Tabel perawatan rutin tahunan *central cooler* selama lima tahun

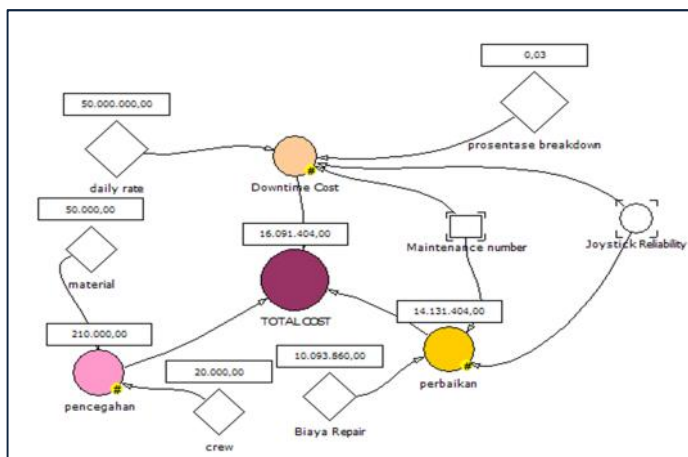
No.	Mulai Perawatan	Selesai Perawatan	Interval (jam)	Durasi (jam)	Action taken
1	01/01/2016 5:00	02/01/2016 21:00	5710	24	<i>Annual docking</i>
2	01/01/2017 5:00	02/01/2017 21:00	5724	24	<i>Annual docking</i>
3	01/01/2018 5:00	02/01/2018 21:00	5716	24	<i>Annual docking</i>
4	31/12/2019 5:00	01/01/2020 21:00	5715	24	<i>Annual docking</i>
5	31/12/2020 5:00	01/01/2021 21:00	5710	24	<i>Annual docking</i>

Pada Tabel 4.21, perawatan rutin tahunan dilaksanakan dengan interval rata – rata (MTTF) 5710 jam dengan minimum reliability 0,88. Karena perawatan dilakukan pada saat *docking*, maka perhitungan biaya perawatan sudah termasuk paket *annual docking*. Perawatan *central cooler* pada saat *annual docking* meliputi :

1. *Overhaul*, membuka penutup luar dan membersihkan saringan air dari kotoran dan *fouling*
2. Pengecekan tekanan hidraulik
3. Pemasangan anoda tumbal dan pengecatan pada sisi input
4. Pengisian tanki air tawar untuk pendingin

4.4.5. Pola Perawatan *Joystick*

Komponen yang selanjutnya dirawat adalah *joystick*. Komponen ini merupakan peralatan control yang berfungsi untuk mengatur putaran dan arah putaran *bow thruster*. Kegagalan dari komponen ini menyebabkan kegagalan *bow thruster system*, karena *bow thruster* tidak bisa beroperasi. Untuk itu, diperlukan perawatan terhadap *central cooler*. Pola perawatan pada *central cooler* dapat disimulasikan dengan menggunakan Powersim untuk durasi 20 tahun.



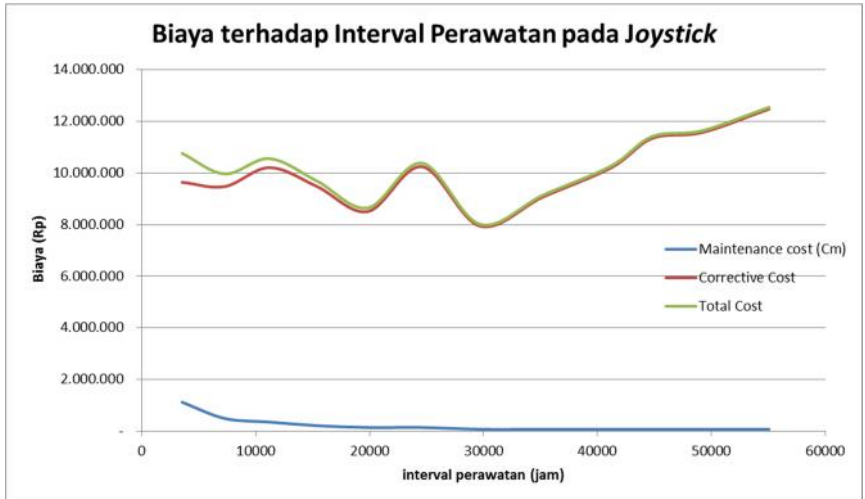
Gambar 4.24. Pola biaya perawatan *joystick*

Setelah melakukan simulasi jadwal perawatan *joystick*, langkah selanjutnya adalah menentukan besarnya biaya perawatan. Dalam hal ini, faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya biaya adalah sebagai berikut :

1. Kegagalan komponen *joystick* menyebabkan *bow thruster* tidak berputar sehingga sistem tidak bekerja dan menyebabkan *downtime*. Adapun nilai *downtime* adalah senilai *downtime cost* (C_{d1}) yaitu 2,5% dari nilai nilai charter per hari sebesar Rp 50.000.000,00 per hari.
2. Besarnya paket perawatan *joystick* adalah Rp 10.093.860,00 tersebut dilakukan dengan biaya pemasangan Rp 1.000.000,00 dan termasuk ke dalam *downtime cost* (C_{d2})
3. Perawatan dilakukan secara rutin untuk pelumasan sebesar Rp 70.000,00
4. Perbaikan ini dapat dilakukan pada saat kapal sedang sandar, tidak perlu dibawa ke galangan. Sehingga, biaya bahan baar tidak termasuk ke dalam komponen biaya perbaikan.

Berdasarkan simulasi biaya perawatan yang telah dilakukan, didapatkan grafik hubungan antara interval perawatan dengan biaya *downtime* (*corrective cost*) dan biaya perawatan sesuai Gambar 4.25. Sesuai analisa moda kegagalan, perbaikan yang dapat dilakukan pada saat terjadi *downtime* adalah dengan mengganti komponen secara utuh.

Berdasarkan Gambar 4.25, didapatkan biaya perawatan terkecil selama adalah pada interval 29771 jam. Interval tersebut menghasilkan keandalan komponen 0,65 dan keandalan 0,999378. Biaya perawatan selama simulasi 20 tahun adalah Rp 16.021.504,00. Karena harga komponen yang jauh lebih mahal dari biaya perawatan, maka dilakukan perawatan pada komponen. Tabel 4.25 menunjukkan penjadwalan perawatan untuk masa operasi lima tahun yang disimulasikan sejak 1 Januari 2016 – 31 Desember 2020. Dengan masa operasi 5 tahun, biaya perawatan adalah sebesar Rp. 4.005.376,00.



Gambar 4.25 Grafik hubungan antara interval dengan biaya perawatan pada *joystick* selama 20 tahun

Tabel 4.27. Tabel jadwal perawatan *joystick* untuk waktu operasi lima tahun

No.	Mulai Perbaikan	Selesai Perbaikan	TTF (jam)	TTR
1	31 Desember 2020	1 Januari 2021	29.711	24

Berdasarkan rekomendasi perawatan di atas, dalam 5 tahun perawatan korektif hanya dilakukan 1 kali. Hal ini karena tidak terlalu banyak *part* yang diperiksa. Jika terjadi kegagalan, ada beberapa jenis perawatan korektif yang dapat dilakukan sesuai Tabel 4.28.

Tabel 4.28. Rekomendasi perawatan dan perbaikan *joystick*

No.	Moda Kegagalan	Rekomendasi Perbaikan
1	Lampu tidak menyala	Memeriksa apakah kerusakan terjadi pada tuas <i>joystick</i> atau lampu, kemudian mengganti lampu atau <i>joystick</i> yang rusak
2	<i>Lever joystick</i> rusak	Mengganti <i>joystick</i> .

Dilanjutkan

Tabel 4.28 (Lanjutan)

3	<i>Bow thruster</i> tidak bergerak saat <i>joystick</i> dioperasikan	<ul style="list-style-type: none"> - Jika pelumas habis, harus mengisi kembali - Memperbaiki komponen yang rusak berikut : <ul style="list-style-type: none"> - Katup hidrolik - Sambungan pipa hidrolik - Silinder hidrolik - Mengganti <i>solenoid valve</i>
4	Perbedaan arah <i>joystick</i> dan putaran <i>bow thruster</i>	Melakukan kalibrasi arah putaran <i>bow thruster</i> dan <i>joystick</i>

Di samping rekomendasi perawatan dan perbaikan yang dilaksanakan setiap lima tahun, perawatan rutin yang dapat dilakukan antara lain adalah dengan selalu memeriksa fungsi *joystick* sebelum dioperasikan. Penjadwalan perawatan pada saat *docking* juga dapat dilakukan dengan jadwal sesuai Tabel 4.29.

Tabel 4.29. Rekomendasi perawatan tahunan *joystick*

No.	Mulai Perawatan	Selesai Perawatan	Interval (jam)	Durasi (jam)	Action taken
1	01/01/2016 5:00	02/01/2016 5:00	5710	5	Annual docking
2	01/01/2017 5:00	02/01/2017 5:00	5724	5	Annual docking
3	01/01/2018 5:00	02/01/2018 5:00	5716	5	Annual docking
4	31/12/2019 5:00	01/01/2020 5:00	5715	5	Annual docking
5	31/12/2020 5:00	01/01/2021 5:00	5710	5	Annual docking

Adapun rincian rekomendasi perawatan yang dapat dilakukan antara lain sebagai berikut :

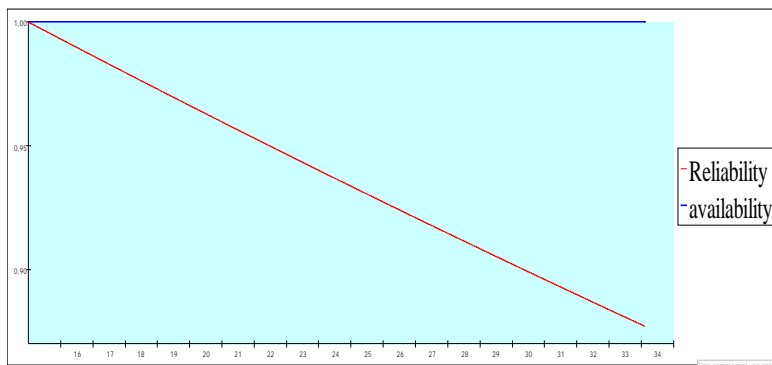
1. Perawatan harian :
 - pemeriksaan volume pelumas dan pemeriksaan adanya kebocoran pada silinder hidrolik, *connecting hose*, katup hidrolik, dan pipa hidrolik
 - memastikan lampu *joystick* menyala
 - memastikan tidak ada indikasi alarm yang menyala saat menyalakan sistem *bow thruster*
2. Perawatan tahunan, dilaksanakan setiap jadwal *docking* tahunan. Penjadwalan perawatan tahunan sesuai dengan

Tabel 4.29. Rincian perawatan yang dapat dilakukan pada saat *docking* tahunan antara lain :

- Pemeriksaan keausan pada mur dan baut *joystick*
 - Pemeriksaan retakan pada *hydraulic hose*
 - Penggantian komponen *joystick* yang aus
3. Setiap dua tahun, dilakukan penggantian *hydraulic hose*

4.4.6. Pola Perawatan *Solenoid valve*

Komponen yang selanjutnya dirawat adalah *solenoid valve*. Komponen ini merupakan peralatan control yang berfungsi sebagai actuator untuk menggerakkan *bow thruster*. Kegagalan dari komponen ini menyebabkan kegagalan *bow thruster system*, karena *bow thruster* tidak bisa beroperasi. Berdasarkan data dari OREDA, nilai laju kegagalan komponen *solenoid valve* adalah 0,0000012. Nilai tersebut dirasa kecil, karena pada saat disimulasikan, dalam jangka waktu 20 tahun pengoperasian, keandalan komponen masih sebesar 0,8716. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.26. Di sisi lain, kegagalan pertama komponen terjadi setelah 8312 jam dengan pilihan perawatan berupa penggantian komponen.

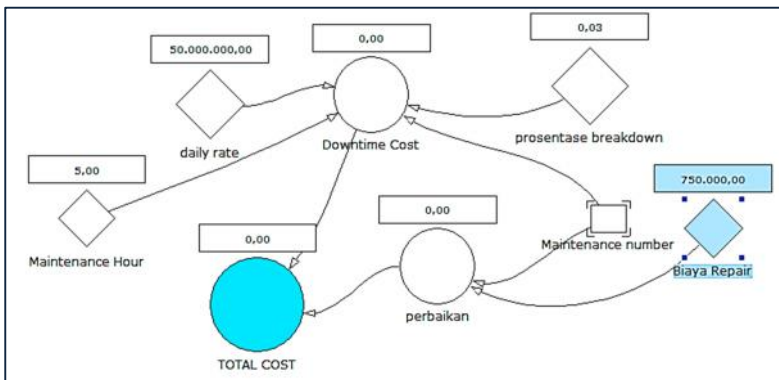


Gambar 4.26. Grafik laju keandalan *solenoid valve* selama 20 tahun

Jika perhitungan biaya perawatan dilakukan berdasarkan Gambar 4.26, besarnya biaya perawatan tidak dapat dianalisa. Dengan memperhatikan biaya penggantian komponen yang relatif kecil yakni sebesar Rp 750.000,00 maka dalam melakukan

perhitungan biaya perawatan komponen ini, direkomendasikan penggantian komponen pada saat terjadi kegagalan. Untuk itu biaya perawatan dihitung dengan interval 8312 jam. Sehingga model perawatan pada *solenoid valve* sesuai dengan Gambar 4.27.

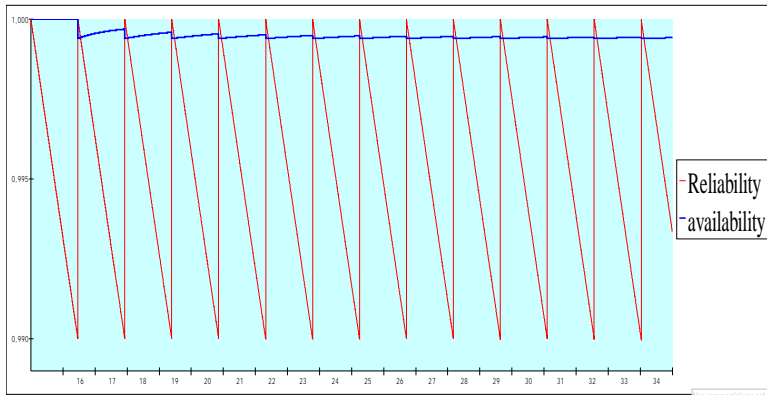
Komponen yang perlu diperhatikan dalam perhitungan biaya *solenoid valve* ini antara lain bahwa kegagalan komponen *solenoid valve* menyebabkan *bow thruster* tidak berputar sehingga sistem tidak bekerja dan menyebabkan *downtime*. Adapun nilai *downtime* adalah senilai *downtime cost* (C_{d1}) yaitu 2,5% dari nilai nilai charter per hari sebesar Rp 50.000.000,00. Karena penggantian komponen adalah selama 5 jam, maka biaya *downtime* dalam satu hari tersebut dikonversikan menjadi *downtime* selama 5 jam. Besarnya paket penggantian *solenoid valve* adalah sebesar Rp 750.000,00 dan termasuk ke dalam *downtime cost* (C_{d2})



Gambar 4.27. Simulasi biaya perawatan *solenoid valve*

Dengan model pada Gambar 4.27, dilakukan simulasi selama dua puluh tahun. Hasil simulasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.28, yaitu grafik hubungan antara interval waktu penggantian komponen (jam) dengan keandalan. Setelah dilakukan simulasi, didapatkan biaya penggantian komponen dan

downtime selama 20 tahun adalah Rp 13.135.416. Besarnya peluang ketersediaan (*availability*) adalah 0,99940.



Gambar 4.27. Grafik laju keandalan *solenoid valve* selama 20 tahun

Penjadwalan penggantian komponen dapat dilihat pada Tabel 4.30. Perencanaan penjadwalan penggantian *solenoid valve* berdasarkan simulasi selama lima tahun yaitu dari 1 Januari 2016 hingga 31 Desember 2020. Sehingga, besarnya biaya perawatan adalah Rp 3.283.858

Tabel 4.30. Tabel penggantian *solenoid valve*

Date	Time	TTF (jam)	TTR (jam)	Action taken
18/06/2016	2:00 - 7:00	8370	5	replace
05/12/2017	3:00 - 8:00	8376	5	replace
23/05/2019	20:00 - 0:00	8381	5	replace
08/12/2020	3:00 - 8:00	8381	5	replace
MTTF		8376		

Gambar 4.27 menunjukkan simulasi dengan indeks keandalan 0,99. Dalam rekomendasi perawatan Tabel 4.27, penggantian komponen dilakukan sebisa mungkin pada pagi hari

sehingga dapat mencegah timbulnya *downtime*. Hal ini karena pada jam – jam tersebut kemungkinan kapal masih sandar, sehingga belum mulai beroperasi.

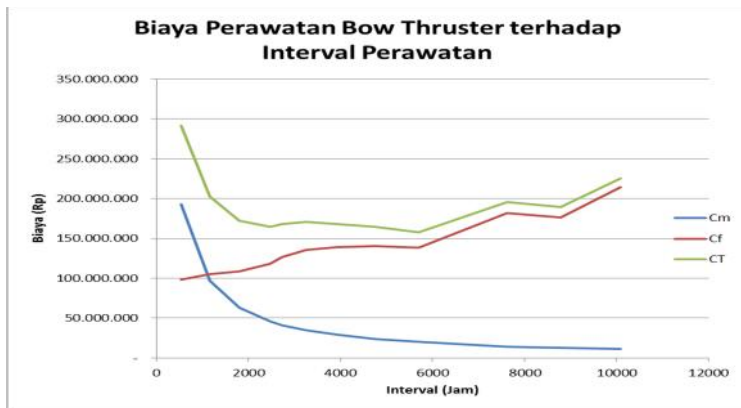
4.4.7. **Pola Perawatan *Bow Thruster***

Komponen selanjutnya adalah *bow thruster*. Komponen ini berfungsi untuk menunjang manuver kapal. Kerusakan pada *bow thruster* menyebabkan sistem tidak berfungsi. Berdasarkan data kegagalan didapatkan kegagalan komponen pada {2387, 5499} jam. Data tersebut digunakan untuk menentukan interval perawatan. Interval perawatan sebisa mungkin tidak melampaui TTF (*Time to Failure*). Namun, kembali lagi pada berapa besarnya biaya yang ditimbulkan akibat perawatan maupun perbaikan. Simulasi dilakukan selama 20 tahun untuk melihat besarnya biaya perawatan.

Setelah melakukan simulasi jadwal perawatan *bow thruster*, langkah selanjutnya adalah menentukan besarnya biaya perawatan yang besarnya sesuai Gambar 4.28. Dalam hal ini, faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya biaya adalah sebagai berikut :

1. Kegagalan komponen *bow thruster* menyebabkan sistem tidak bekerja sehingga menyebabkan *downtime*. Adapun nilai *downtime* adalah senilai *downtime cost* (C_{d1}) yaitu 2,5% dari nilai nilai charter per hari sebesar Rp 50.000.000,00 per hari.
2. Perawatan meliputi biaya pengadaan material, penggantian zinc anode, dan pembersihan tunnel dengan nilai Rp 1.000.000 per perawatan
3. Besarnya paket perbaikan *bow thruster* adalah Rp 7000.000,00 dan termasuk ke dalam *downtime cost* (C_{d2})
4. Perlu dilakukan perawatan pada saat *docking* tahunan, dimana perawatan dilakukan di galangan.
5. Lama waktu perawatan menurut buku “*Guide to Ship Repair Estimate*” adalah 35 jam. Sedangkan waktu transportasi ke galangan adalah 8 jam, dan persiapan

sebelum *docking* adalah 8 jam. Sehingga, total perawatan adalah 51 jam.



Gambar 4.28. Hubungan interval perawatan dengan biaya pada *bow thruster*

Berdasarkan hasil simulasi, biaya perawatan terkecil didapatkan pada interval perawatan 5709 jam pada indeks keandalan 0,6. Besarnya biaya perawatan selama 20 tahun adalah Rp 158.000.000,00. Sehingga besarnya perawatan selama 20 tahun adalah Rp 39.500.000,00. Rekomendasi perawatan pada *bow thruster* didapatkan dengan interval perawatan sesuai Tabel 4.31. Pertimbangan perawatan korektif atau perbaikan dapat dilakukan pada moda kegagalan yang berbeda – beda. Adapun tindakan perawatan korektif yang dapat dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4.31. Rekomendasi perawatan *bow thruster*

No.	Mulai Perawatan	Selesai Perawatan	TTF (jam)	TTR (jam)	Action taken
1	01/01/2016 5:00	03/01/2016 21:00	5709	51	Annual docking
2	01/01/2017 5:00	03/01/2017 21:00	5709	51	Annual docking
3	01/01/2018 5:00	03/01/2018 21:00	5710	51	Annual docking
4	31/12/2019 5:00	02/01/2020 21:00	5705	51	Annual docking
5	31/12/2020 5:00	02/01/2021 21:00	5707	51	Annual docking

Karena hasil simulasi dinamika sistem menunjukkan perawatan minimum dilakukan setiap 5709 jam dan mendekati jadwal annual *docking*, maka prediksi perawatan korektif atau perbaikan sama dengan jadwal perawatan preventif pada saat annual *docking*. Adapun rekomendasi perawatan dan perbaikan saat terjadi kegagalan padat dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32. Rekomendasi perawatan korektif pada *bow thruster*

No.	<i>Failure Mode</i>	<i>Action Taken</i>
1	Sistem tidak beroperasi	Dapat terjadi akibat kerusakan pada <i>solenoid valve</i> , sehingga perlu melakukan pemeriksaan tegangan (<i>voltage</i>) pada kapal.
2	<i>Erractic output</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Adanya kotoran di dalam tunnel, perlu dilakukan pembersihan. - Terjadi kavitasi pada propeller, perlu dilakukan perbaikan dan kalibrasi propeller. Penggantian propeller tidak perlu dengan melakukan overhaul, cukup dengan melepas propeller dari tabung.
3	<i>Overheating</i>	Fluida terlalu kotor. Perlu dilakukan pengecekan kekotoran fluida. jika sudah melewati ambang batas, harus diganti Relief valve terbuka. Perlu dilakukan pembersihan atau perbaikan.

Overhaul *bow thruster* jarang dilakukan, karena melibatkan proses yang panjang seperti pengangkatan badan kapal ke atas floating dock, serta pelepasan tunnel *thruster* dari badan kapal. Untuk mencegah terjadinya overhaul, *bow thruster* secara rutin diperiksa setiap *docking* tahunan.

Rincian perawatan – perawatan pada saat *docking* tahunan berdasarkan panduan perawatan *bow and stern thruster* Keypower Equipment Inc. Beberapa rekomendasi yang dapat dilakukan antara lain :

1. Memastikan volume minyak pelumas yang digunakan sebagai fluida hidrolik berada pada $\frac{1}{2}$ hingga $\frac{3}{4}$ tinggi dari pipa duga (*sight gauge*). Jika ada kebocoran, harus diperbaiki
2. Membersihkan *thruster drive*, propeller, dan tunnel pada saat *repainting* (pencat ulang)
3. Mengganti *zinc anode* jika diperlukan.

4.4.8. Ringkasan Biaya Perawatan

Setelah melakukan simulasi dengan software PowerSim, didapatkan biaya perawatan optimum selama 20 tahun. Namun, mengingat perencanaan perawatan hanya dilakukan selama lima tahun, maka esarnya biaya perawatan dan perbaikan adalah sesuai Tabel 4.32. Karena masing – masing komponen memiliki laju kegagalan yang berbeda – beda, maka setiap komponen memiliki interval perawatan yang berbeda – beda. Hanya saja, dalam perawatan rutin yang dijadwlkan tetap mengacu pada jadwal *docking* tahunan.

Tabel 4.32. Ringkasan biaya perawatan sistem setelah lima tahun

No.	Komponen	Interval Perawatan (jam)	Biaya Perawatan dan Perbaikan
1	<i>PTO Pump</i>	2572	Rp 73.701.852
2	<i>Hydraulic heat exchanger</i>	27937	Rp 1.535.000
3	<i>Central cooler</i>	30946	Rp 2.975.000
4	<i>Joystick</i>	29711	Rp 4.005.376
5	<i>Solenoid valve</i>	8370	Rp 3.283.854
6	<i>Bow Thruster</i>	5709	Rp 39.500.000
TOTAL			Rp125.001.082

Berdasarkan ringkasan pada tabel 4.19, biaya perawatan selama 5 tahun untuk komponen dalam sistem adalah Rp 125.001.082,00 (seratus dua puluh lima juta seribu delapan puluh dua rupiah).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari analisa data dan pembahasan yang dilakukan dalam skripsi ini, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan analisa FMEA, didapatkan komponen kritis pada *bow thruster* system kapal CB. X adalah *PTO pump*, *hydraulic heat exchanger*, *central cooler*, *joystick*, *solenoid valve*, dan *bow thruster*
2. Menentukan perawatan dengan biaya optimum dapat dilakukan dengan interval berdasarkan indeks keandalan masing – masing komponen. Komponen dengan laju kegagalan yang kecil memiliki interval perawatan yang lebih panjang
3. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, penjadwalan perawatan untuk komponen – komponen dalam sistem *bow thruster* antara lain *PTO pump* dirawat setiap 2572 jam, *hydraulic heat exchanger* dirawat tiap 27.937 jam, *central cooler* dirawat tiap 30.946 jam, *joystick* dirawat tiap 29711 jam, *solenoid valve* diganti tiap 8370 jam, *bow thruster* dirawat tiap 5709 jam, dengan jadwal perawatan yang mempertimbangkan jadwal *docking* tahunan yaitu setiap 5724 jam.
4. Biaya perawatan optimum dalam kurun waktu 5 tahun untuk sistem *bow thruster* antara lain *PTO pump* sebesar Rp 73.701.852,00; *hydraulic heat exchanger* sebesar Rp 1.535.000,00; *central cooler* sebesar Rp 2.975.000,00; *joystick* sebesar Rp 4.005.376,00; *solenoid valve* sebesar Rp 3.283.854,00; sedangkan biaya perawatan *bow thruster* sebesar Rp 39.500.000,00. Total biaya perawatan selama 5 tahun adalah Rp 125.001.082,00.

5.2. Saran

Dengan batasan dalam skripsi ini dan pembahasan yang telah dilakukan, saran yang dapat disampaikan antara lain :

1. Mengingat umur kapal yang masih baru, yaitu 3 tahun, sebagian data menggunakan data sekunder dari OREDA dan NRPD. Jika akan membuat simulasi dengan *system dynamics*, sebaiknya digunakan juga data primer dari komponen yang disimulasikan sehingga dapat melakukan uji distribusi kegagalan komponen. Di samping itu juga dapat membuat simulasi yang lebih real atau sesuai dengan kondisi sebenarnya.
2. Hasil simulasi perlu dibandingkan dengan data historis perawatan kapal sebelumnya. Untuk itu, akan lebih baik jika ada kapal sejenis dengan umur operasi yang lebih lama ataupun kapal yang disimulasikan memang memiliki umur operasi yang lama.
3. Sebaiknya simulasi tidak hanya dilakukan dengan skenario indeks keandalan yang berbeda – beda tapi juga pada masing – masing moda kegagalan (*failure mode*) yang dapat diidentifikasi dalam setiap komponen.

DAFTAR PUSTAKA

Anita, Nurma. 2013. **Analisis Daur Hidup Produk Berbasis Industri Kreatif Subsektor Kerajinan dengan Pendekatan Sistem Dinamik (Studi Kasus : Produk Industri Marmer dan Onix Tulungagung)**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Artana,K.B. & Dinariyana, AA.B. 2013. **Teori Keandalan Sistem dan Aplikasinya**. Surabaya : Inti Karya Guna.

Axella, Oxa. 2012. **Aplikasi Model Sistem Dinamik untuk Menganalisis Permintaan dan Ketersediaan Listrik Sektor Industri (Studi Kasus : Jawa Timur"**. Surabaya : Jurusan Sistem Informasi, Fakultas Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Butler, Don. 2000. **Guide to Ship Repair Estimates (in Man Hours)**. Oxford : Butterworth Heinemann.

Dhillon, B.S.2002. **Engineering Maintenance**. Boca Raton, USA: CRC Press.

DIN EN 13306:2008. **Maintenance Terminology Standards to Maintenance**. Jerman

Handani, D.W., Uchida, M. 2014. "*Modeling Optimum Operation of Ship Machinery by Using System Dynamics*". **Journal of the JIME (Japan Institute of Marine Engineering)**. 132-141.

Jardine, A.K.S.. 1975. **Maintenance, Replacement, and Reliability**. Pitman Publishing.

Khumairoh, Lilik & Wirjodirdjo, Budisantoso. 2013. *Analisis Keterkaitan Pelaku Pergulaan Nasional: Suatu Penghampiran Model Dinamika Sistem*, **Jurnal Institut Teknologi Sepuluh Nopember**.

Kusuma, Pradikta. 2012. **Manajemen Perawatan Komponen Operasional dengan Pemodelan Sistem Dinamis (Studi Kasus Prefractional Unit PT. Trans Pacific Petrochemical Indotama)**, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Latif, Zaki. 2013. **Penjadwalan Perawatan Mesin Pendingin dengan Menggunakan Pemodelan Dinamika Sistem**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Mirchi, Ali. 2013. **System Dynamics Modelling as a quantitative – Qualitative Framework For Sustainable Water Resources Management : Insights for Water Quality Policy in The Great Lakes Region**. Disertasi. Michigan: Michigan Technology University.

Military Standard 1629-A. 1980. **Procedures for Performing a Failure Mode, Effect and Criticality Analysis**. Washington DC: Department of Defence.

Sintef Industrial Management. 2002. **Offshore Reliability Data Handbook (OREDA)**. Trondheim : OREDA Participants.

Smith, Anthony. **Reliability Centered Maintenance**. New York: McGraw-Hill. Inc

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 JADWAL DAN RUTE PELAYARAN KAPAL

LAMPIRAN 2 DATA KEGAGALAN *BOW THRUSTER
SYSTEM*

LAMPIRAN 3 GAMBAR RENCANA UMUM KAPAL DAN
PFD BOW THRUSTER SYSTEM

LAMPIRAN 4 *WORKSHEET FMEA*

LAMPIRAN 5 REKOMENDASI PERAWATAN KOMPONEN

LAMPIRAN 6 PERHITUNGAN BIAYA PERAWATAN

JADWAL PELAYARAN KAPAL CB. X**1 FEBRUARI 2015 - 2 MARET 2015**

No.	Tanggal	Rute	Take off	Landing	Durasi
1	01/02/2015	Stby Wongloi	4:00:00	6:10:00	2,17
2	01/02/2015	SBE Wongloi - PHE 30	6:10:00	8:25:00	2,25
3		FWE at PHE 30	8:25:00	12:00:00	3,58
4		Stby Wongloi	12:00:00	16:00:00	4,00
5		Wongloi - Katelia	16:00:00	18:20:00	2,33
6		Katelia - PHE 30	16:00:00	20:00:00	4,00
7		Jeda (FWE)	20:00:00	21:15:00	1,25
8		PHE 30 - Wongloi	21:15:00	22:30:00	1,25
9		At standby port (Wongloi)	22:30:00	4:00:00	5,50
10	02/02/2015	Jeda	4:00:00	10:20:00	6,33
11		Wongloi - PHE 30	10:20:00	12:00:00	1,67
12		Stby Wongloi	12:00:00	15:30:00	3,50
13		Iddle	15:30:00	16:15:00	0,75
14		PHE 30 - Perkasa	16:15:00	18:05:00	1,83
16		Perkasa - Wongloi	18:05:00	19:15:00	1,17
18		PHE 30 - Wongloi	19:15:00	22:55:00	3,67
19		At standby port (Wongloi)	22:55:00	4:00:00	5,08
20	03/02/2015	Jeda (standby at Wongloi)	4:00:00	6:10:00	2,17
21		Wongloi - PHE 30	6:10:00	7:05:00	0,92
22		Wongloi - FWE	7:05:00	8:10:00	1,08
23		Wongloi - Trijaya 1	8:10:00	11:15:00	3,08
25		Trijaya - Wongloi	11:15:00	13:20:00	2,08
26		Stby Wongloi	13:20:00	18:10:00	4,83
27		Wongloi - PHE 30	18:10:00	19:15:00	1,08

No.	Tanggal	Rute	Take off	Landing	Durasi
28		PHE 30 - Wongloi- Patrol TC 06	19:15:00	0:00:00	4,75
31		At standby port (Wongloi)	0:00:00	1:00:00	1,00
32		Jeda (standby at Wongloi)	1:00:00	4:45:00	3,75
33	04/02/2015	Iddle	4:45:00	5:55:00	1,17
34		Patrol	5:55:00	12:10:00	6,25
35		Wongloi - TC 06	12:10:00	13:10:00	1,00
36		Jeda (standby at Wongloi)	13:10:00	16:20:00	3,17
37		Wongloi - PHE 30	16:20:00	17:10:00	0,83
38		Patrol at PHE 30	17:10:00	20:55:00	3,75
39		Wongloi - PHE 30	20:55:00	21:45:00	0,83
40		PHE 30 - Wongloi	21:45:00	0:00:00	2,25
41	05/02/2015	At standby port (Wongloi)	0:00:00	3:50:00	3,83
42		Wongloi - PHE 30	3:50:00	7:45:00	3,92
43		PHE 30 - Wongloi	7:45:00	12:00:00	4,25
46		Stby Wongloi	12:00:00	15:30:00	3,50
47		Patrol to Taurus, Poleng, PPP	15:30:00	20:45:00	5,25
48		Patrol - Wongloi	20:45:00	22:00:00	1,25
49		Arrive to port	22:00:00	0:00:00	2,00
50		At standby port (Wongloi)	0:00:00	4:00:00	4,00
51	06/02/2015	Jeda	4:00:00	6:10:00	2,17
52		Wongloi - PHE 30	6:10:00	7:05:00	0,92
53		PHE 30 - Wongloi	7:05:00	10:25:00	3,33
54		Stby Wongloi	10:25:00	14:30:00	4,08
55		Patrol to PHE 30, Poleng, PPP	14:30:00	18:10:00	3,67

No.	Tanggal	Rute	Take off	Landing	Durasi
56		Wongloi - PHE 30	18:10:00	19:15:00	1,08
57		Jeda	19:15:00	21:10:00	1,92
58		Arrive to port	21:00:00	22:00:00	1,00
59	07/02/2015	At standby port (Wongloi)	22:00:00	4:00:00	6,00
60		Jeda	4:00:00	6:10:00	2,17
61		Wongloi - PHE 30	6:10:00	8:30:00	2,33
63		Patrol PHE 30 - Taurus - PHE 30 - Wongloi	8:30:00	12:35:00	4,08
64		Stby Wongloi	12:35:00	14:00:00	1,42
65		Patrol PHE 30 - Taurus - PHE 30 - Wongloi	14:00:00	18:05:00	4,08
66		Wongloi - PHE 30	18:15:00	19:15:00	1,00
67		PHE 30 - Wongloi	19:15:00	20:45:00	1,50
68		Sandar	20:45:00	21:35:00	0,83
69	08/02/2015	At standby port (Wongloi)	21:35:00	4:00:00	6,42
70		Jeda	4:00:00	6:10:00	2,17
71		Wongloi - PHE 30 - Sandar	6:10:00	9:40:00	3,50
72		PHE 30 - Wongloi	9:40:00	12:00:00	2,33
73		Stby Wongloi	12:00:00	15:20:00	3,33
74		Patrol PHE 30 - ABH - Poleng - PPP	15:20:00	19:10:00	3,83
75		Sandar	19:10:00	21:00:00	1,83
76		Wongloi - PHE 30	21:00:00	21:50:00	0,83
77		Arrive to port	21:50:00	0:00:00	2,17
78	09/02/2015	At standby port (Wongloi)	0:00:00	4:00:00	4,00
79		Jeda	4:00:00	6:10:00	2,17

No.	Tanggal	Rute	Take off	Landing	Durasi
80		Wongloi - PHE 30	6:10:00	7:10:00	1,00
81		Sandar	7:10:00	9:20:00	2,17
82		Wongloi - PHE 30	9:20:00	10:05:00	0,75
83		Stby Wongloi	10:05:00	12:00:00	1,92
84		Patrol PHE 30 - Poleng	12:00:00	18:10:00	6,17
85		Wongloi - PHE 30 - Wongloi	18:10:00	21:30:00	3,33
86		PHE 30 (Patrol)	21:30:00	0:00:00	2,50
87	10/02/2015	Continued	0:00:00	0:30:00	0,50
88		At standby port (Wongloi)	0:30:00	6:10:00	5,67
89		Wongloi - PHE 30 - Sandar	6:10:00	7:40:00	1,50
90		Wongloi - Abherka BW Bouy	7:40:00	9:25:00	1,75
91		Sandar	9:25:00	11:20:00	1,92
92		Patrol BW Buoy - PHE 30 - Wongloi	11:20:00	13:15:00	1,92
93		Patrol	13:15:00	18:10:00	4,92
94		Wongloi - PHE 30	18:10:00	19:10:00	1,00
95		Sandar	19:10:00	21:15:00	2,08
96		Wongloi - PHE 30	21:15:00	22:05:00	0,83
97		At standby port (Wongloi)	22:05:00	4:00:00	5,92
98	11/02/2015	Jeda	4:00:00	5:25:00	1,42
99		Wongloi - PHE 30 - Wongloi	5:25:00	6:20:00	0,92
100		Sandar	6:20:00	8:00:00	1,67
101		Stby Wongloi	8:00:00	12:00:00	4,00
102		Patrol Wongloi - PHE 30 - Perkasa	12:05:00	13:15:00	1,17
103		Stby Wongloi	13:15:00	16:00:00	2,75

No.	Tanggal	Rute	Take off	Landing	Durasi
104		Wongloi - PHE 30	16:00:00	16:55:00	0,92
105		FWE at PHE 30	16:55:00	21:40:00	4,75
106		PHE 30 - Wongloi	21:40:00	22:30:00	0,83
107		At standby port (Wongloi)	22:30:00	4:00:00	5,50
108	12/02/2015	Jeda	4:00:00	6:10:00	2,17
109		Wongloi - PHE 30	6:10:00	9:55:00	3,75
110		PHE 30 - Wongloi	9:55:00	10:45:00	0,83
111		Stby Wongloi	10:45:00	12:00:00	1,25
112		Patrol PHE 30 - ABH - Poleng - PPP	12:00:00	18:00:00	6,00
113		SBE Wongloi - PHE 30 - Sandar	18:10:00	21:10:00	3,00
114		PHE 30 - Wongloi	21:10:00	22:00:00	0,83
115		At standby port (Wongloi)	22:00:00	4:00:00	6,00
116	13/02/2015	Jeda	4:00:00	6:10:00	2,17
117		Wongloi - PHE 30	6:10:00	7:20:00	1,17
118		FWE at PHE 30	7:20:00	9:20:00	2,00
119		Wongloi - PHE 30 - Abherka - Katelia	9:20:00	11:55:00	2,58
120		Patrol Katelia - PHE 30 - Wongwi	11:55:00	14:45:00	2,83
121		FWE at Wongloi	14:45:00	18:10:00	3,42
122		Wongloi - PHE 30 - Perkasa Wongloi	18:10:00	19:15:00	1,08
123		FWE at Wongloi	19:15:00	21:05:00	1,83
124		Wongloi - Perkasa - PHE 30 - Wongloi	21:05:00	21:55:00	0,83
125		At standby port (Wongloi)	21:55:00	4:00:00	6,08
126	14/02/2015	Stby Wongloi	4:00:00	6:10:00	2,17

No.	Tanggal	Rute	Take off	Landing	Durasi
127		Wongloi - PHE 30 - Sandar	6:10:00	8:20:00	2,17
128		PHE 30 - Wongloi	8:20:00	11:35:00	3,25
129		Stby Wongloi	11:35:00	15:00:00	3,42
130		Patrol Wongloi - PHE 30 - Perkasa	15:00:00	18:10:00	3,17
131		Wongloi - Perkasa - PHE 30 - Wongloi	18:10:00	20:25:00	2,25
132		Wongloi - PHE 30 - Perkasa Wongloi	20:25:00	21:15:00	0,83
133	15/02/2015	At standby port (Wongloi)	20:25:00	4:00:00	7,58
134		Stby Wongloi	4:00:00	6:10:00	2,17
135		Wongloi - PHE 30 - Wongloi	6:10:00	9:20:00	3,17
136		Wongloi - PHE 30 - Perkasa Wongloi	9:20:00	10:05:00	0,75
137		Stby Wongloi	10:05:00	12:00:00	1,92
138		Patrol PHE 30 - Taurus - PHE 30 - Wongloi	12:00:00	18:10:00	6,17
139		Wongloi - PHE 30 - Perkasa - Taurus	18:10:00	0:00:00	5,83
140	16/02/2015	At standby port (Wongloi)	0:00:00	4:00:00	4,00
141		Stby Wongloi	4:00:00	5:45:00	1,75
142		Patrol clear fisher area	5:45:00	12:00:00	6,25
143		Stby Wongloi	12:00:00	14:55:00	2,92
144		Patrol at PHE 30, PPP, Abherka	14:55:00	18:10:00	3,25
145		Perwira - PHE 30 - Abherka	18:10:00	19:10:00	1,00
146		FWE at wongloi	19:10:00	21:30:00	2,33

No.	Tanggal	Rute	Take off	Landing	Durasi
147		Patrol at perwira - PHE 30 - Abherka	21:30:00	4:00:00	6,50
148	17/02/2015	Stby Wongloi	4:00:00	6:10:00	2,17
149		Wongloi - Perwira - PHE 30 - Perwira	6:10:00	7:50:00	1,67
150		Perwira - Abherka - K33 - AW	7:50:00	10:50:00	3,00
151		Abherka, Perwira, PHE 30, Katelia	10:50:00	14:55:00	4,08
152		Wongloi - Abherka BW Bouy	15:35:00	18:15:00	2,67
153		Wongloi - Perwira - PHE 30 - Perwira	18:15:00	21:50:00	3,58
154		At standby port (Wongloi)	21:50:00	4:00:00	6,17
155	18/02/2015	Stby Wongloi	4:00:00	5:25:00	1,42
156		Wongloi - Perwira - PHE 30 - Wongloi	5:25:00	6:20:00	0,92
157		FEW at Wongloi	6:20:00	12:10:00	5,83
158		Patrol at Perwira - PHE 30	12:10:00	14:25:00	2,25
159		Patrol at Wongloi - Perwira - PHE 30	16:30:00	22:10:00	5,67
160		At standby port (Wongloi)	22:10:00	4:00:00	5,83
161	19/02/2015	Stby Wongloi	4:00:00	6:10:00	2,17
162		Wongloi-Perwira - PHE 30	6:10:00	9:50:00	3,67
163		Wongloi - PHE 30 - Perwira - Wongloi	9:50:00	10:40:00	0,83
164		Patrol at PHE 30 Area	10:40:00	16:00:00	5,33
165		SBE at 2nd port Wongloi	16:00:00	0:00:00	8,00

No.	Tanggal	Rute	Take off	Landing	Durasi
166	20/02/2015	At standby port (Wongloi)	0:00:00	4:00:00	4,00
167		SBE at wongloi	4:00:00	6:10:00	2,17
168		Patrol at Wongloi - Perwira - PHE 30	6:10:00	12:00:00	5,83
169		Stby Wongloi	12:00:00	16:00:00	4,00
170		Patrol at PHE 30 Area	16:00:00	18:20:00	2,33
171		Patrol Wongloi - Katelia III - PHE 30	18:20:00	20:00:00	1,67
172		Wongloi- PHE 30 - Perkasa - Wongloi	20:00:00	22:30:00	2,50
173		At standby port (Wongloi)	22:30:00	4:00:00	5,50
174	21/02/2015	Patrol at wongloi	4:00:00	10:20:00	6,33
175		Patrol PHE 30 - PPP - Perkasa - Wongloi	10:20:00	14:45:00	4,42
176		FWE at Wongloi	14:45:00	15:30:00	0,75
177		Patrol at 30 Area - Abherka - PPP	15:30:00	18:05:00	2,58
178		Perkasa - PHE 30 - Wongloi	18:05:00	19:15:00	1,17
179		Wongloi - Perkasa - PHE 30 - Wongloi	19:15:00	22:55:00	3,67
177		At standby port (Wongloi)	22:55:00	4:00:00	5,08
178	22/02/2015	Patrol at Perkasa - PHE 30 - PPP	4:00:00	10:20:00	6,33
177		Wongloi - Perkasa - PHE 30 - Wongloi	10:20:00	12:00:00	1,67
178		Stby Wongloi	12:00:00	15:30:00	3,50
179		Patrol at PHE 30, PPP, Abherka	15:30:00	18:05:00	2,58
177		Perkasa - PHE 30 - Wongloi	18:05:00	19:15:00	1,17

No.	Tanggal	Rute	Take off	Landing	Durasi
178		Wongloi - PHE 30 - Abherka - PPP	19:15:00	22:55:00	3,67
177	23/02/2015	At standby port (Wongloi)	22:55:00	4:00:00	5,08
178		Stby Wongloi	4:00:00	6:10:00	2,17
179		Wongloi - PHE 30	6:10:00	7:05:00	0,92
177		Wongloi - FWE	7:05:00	8:10:00	1,08
178		Wongloi - Trijaya 1	8:10:00	11:15:00	3,08
179		Trijaya - Wongloi	11:15:00	13:20:00	2,08
180		Stby Wongloi	13:20:00	18:10:00	4,83
181		Wongloi - PHE 30	18:10:00	19:15:00	1,08
182		PHE 30 - Wongloi- Patrol TC 06	19:15:00	22:50:00	3,58
183	24/02/2015	At standby port (Wongloi)	22:50:00	4:00:00	5,17
184		Iddle	4:45:00	5:55:00	1,17
185		Patrol at Wongloi - Perwira - PHE 30	5:55:00	12:10:00	6,25
186		Wongloi - TC 06	12:10:00	13:10:00	1,00
187		Jeda (standby at Wongloi)	13:10:00	16:20:00	3,17
188		Patrol at Wongloi - PHE 30	16:20:00	21:45:00	5,42
189	25/02/2015	At standby port (Wongloi)	21:45:00	3:50:00	6,08
190		Wongloi - PHE 30	3:50:00	7:45:00	3,92
191		Patrol at PHE 30 - Wongloi	7:45:00	12:00:00	4,25
192		Stby Wongloi	12:00:00	15:30:00	3,50
193		Patrol to Taurus, Poleng, PPP	15:30:00	20:45:00	5,25
194		Patrol - Wongloi	20:45:00	22:00:00	1,25
195		At standby port (Wongloi)	22:00:00	4:00:00	6,00

No.	Tanggal	Rute	Take off	Landing	Durasi
196	26/02/2015	SBE at wongloi	4:00:00	6:10:00	2,17
197		Wongloi - PHE 30	6:10:00	7:05:00	0,92
198		PHE 30 - Wongloi	7:05:00	10:25:00	3,33
199		Stby Wongloi	10:25:00	14:30:00	4,08
200		Patrol to PHE 30, Poleng, PPP	14:30:00	18:10:00	3,67
201		Wongloi - PHE 30	18:10:00	19:15:00	1,08
202		Perkasa - PHE 30 - Wongloi	19:15:00	22:00:00	2,75
203	27/02/2015	At standby port (Wongloi)	22:00:00	4:00:00	6,00
204		SBE at wongloi	4:00:00	6:10:00	2,17
205		Wongloi - PHE 30	6:10:00	8:30:00	2,33
206		Patrol PHE 30 - Taurus - PHE 30 - Wongloi	8:30:00	12:35:00	4,08
207		Stby Wongloi	12:35:00	14:00:00	1,42
208		Patrol PHE 30 - Taurus - PHE 30 - Wongloi	14:00:00	18:05:00	4,08
209		Wongloi - PHE 30	18:15:00	19:15:00	1,00
210		PHE 30 - Wongloi	19:15:00	20:45:00	1,50
211		Sandar	20:45:00	21:35:00	0,83
212	28/02/2015	At standby port (Wongloi)	21:35:00	4:00:00	6,42
213		Jeda	4:00:00	6:10:00	2,17
214		Wongloi - PHE 30 - Sandar	6:10:00	9:40:00	3,50
215		PHE 30 - Wongloi	9:40:00	12:00:00	2,33
216		Stby Wongloi	12:00:00	15:20:00	3,33
217		Patrol PHE 30 - ABH - Poleng - PPP	15:20:00	19:10:00	3,83
218		Sandar	19:10:00	21:00:00	1,83

No.	Tanggal	Rute	Take off	Landing	Durasi
219		Wongloi - PHE 30	21:00:00	21:50:00	0,83
220		Arrive to port	21:50:00	0:00:00	2,17
221	01/03/2015	At standby port (Wongloi)	0:00:00	4:00:00	4,00
222		Iddle	4:00:00	6:10:00	2,17
223		Wongloi - PHE 30	6:10:00	7:10:00	1,00
224		Sandar	7:10:00	9:20:00	2,17
225		Wongloi - PHE 30	9:20:00	10:05:00	0,75
226		Stby Wongloi	10:05:00	12:00:00	1,92
227		Patrol PHE 30 - Poleng	12:00:00	18:10:00	6,17
228		Wongloi - PHE 30 - Wongloi	18:10:00	21:30:00	3,33
229		PHE 30 (Patrol)	21:30:00	0:00:00	2,50
230	02/03/2015	Continued	0:00:00	0:30:00	0,50
231		At standby port (Wongloi)	0:30:00	4:00:00	3,50
232		Wongloi - PHE 30 - Sandar	4:00:00	7:40:00	3,67
233		Wongloi - Abherka BW Bouy	7:40:00	9:25:00	1,75
234		Stby Wongloi	9:25:00	11:20:00	1,92
235		Patrol BW Buoy - PHE 30 - Wongloi	11:20:00	13:15:00	1,92
236		Patrol	13:15:00	18:10:00	4,92
237		Wongloi - PHE 30	18:10:00	19:10:00	1,00
238		Sandar	19:10:00	21:15:00	2,08
239		Wongloi - PHE 30	21:15:00	22:05:00	0,83
240		At standby port (Wongloi)	22:05:00	4:00:00	5,92

LAMPIRAN DATA KEGAGALAN SISTEM BOW THRUSTER

No.	Nama Komponen	Data kegagalan (jam)	Kegagalan	Action taken
1	PTO Pump (Main power)	4159	pompa mati	perbaikan di galangan
		4398	pompa mati	perbaikan di galangan
		5737	saluran tersumbat	Pembersihan pipa dan perbaikan di galangan
2	Hydraulic Heat Exchanger	-		
3	Central Cooler	8974	fouling	pembersihan komponen
4	Joystick	8292	putaran thruster pelan	memperbaiki sistem hidraulik
		7946	joystick rusak	replace
5	Solenoid valve	8312	sparepart rusak	replace
6	Bow thruster	2873	tidak berputar	perbaikan di galangan
		5499		

Failure Mode and Effect Analysis

System : Bow Thruster System

Part Name :

Reference Drawing:

Date:

Sheet of

Compiled by:

Identification Number	Item Name	Function	Failure Modes and Causes	Mission Phase / Operational Mode	Failure Effects			Failure Detection Method	Compensating Provisions	Severity	Remarks	Risk Priority Number			
					Local Effects (to the	Next Higher Effects (to sub-	End Effects (to the system)					Sev.	Occ.	Det.	RPN
1.1.1	Gearbox		FTS	Normal operation	PTO tidak beroperasi	PTO tidak beroperasi	Bow thruster tidak beroperasi	Visual check	Memperbaiki main engine	Cat. III	Major A	6	3	2	36
			a. Kerusakan pada main engine												
			b. Pelumas pada shaft terlalu sedikit.	Normal operation	PTO tidak beroperasi	PTO tidak beroperasi	Bow thruster tidak beroperasi		Menambah pelumas			6	3	2	36

Identification Number	Item Name	Function	Failure Modes and Causes	Mission Phase / Operational Mode	Failure Effects			Failure Detection Method	Compensating Provisions	Severity	Remarks	Risk Priority Number			
					Local Effects (to the component)	Next Higher Effects (to sub-system)	End Effects (to the system)					Sev.	Occ.	Det.	RPN
1.1.1	Gearbox		c. Kerusakan pada flange penghubung engine dengan gearbox	Normal operation	PTO tidak beroperasi	PTO tidak beroperasi	Bow thruster		mengganti bolt penghubung shaft dengan gearbox			6	3	2	36
1.1.2	PTO Gear pump	Menghasilkan tekanan hidrolik > 200 bar menuju bow thruster	<div>ELP</div> <div>a. gasket rusak</div>	Normal operation	Aliran fluida terganggu	Pressure yang dihasilkan berkurang	daya thruster turun	Visual check	mengganti seal yang telah aus baik pada roda gigi, seal luar, maupun poros pompa	Cat. III	Maj. A	6	3	5	90

Identification Number	Item Name	Function	Failure Modes and Causes	Mission Phase / Operational Mode	Failure Effects			Failure Detection Method	Compensating Provisions	Severity	Remarks	Risk Priority Number			
					Local Effects (to the component)	Next Higher Effects (to sub-system)	End Effects (to the system)					Sev.	Occ.	Det.	RPN
1.1.2	PTO Gear pump	Menghasilkan tekanan hidrolik > 200 bar menuju bow thruster	b. packing box bushing rusak	Normal operation	Aliran fluida terganggu	Pressure yang dihasilkan berkurang	daya thruster turun		Memperbaiki bagian packing box bushing yang rusak.			6	3	5	90
			c. rubber seal dan mechanical seal rusak	Normal operation	Aliran fluida terganggu	Pressure yang dihasilkan berkurang	daya thruster turun		Mengganti part yang rusak			6	3	5	90

Identification Number	Item Name	Function	Failure Modes and Causes	Mission Phase / Operational Mode	Failure Effects			Failure Detection Method	Compensating Provisions	Severity	Remarks	Risk Priority Number			
					Local Effects (to the component)	Next Higher Effects (to sub-system)	End Effects (to the system)					Sev.	Occ.	Det.	RPN
1.1.2	PTO Gear pump	Menghasilkan tekanan hidraulik > 200 bar menuju bow thruster	b. Clog (suction line tersumbat)	Normal operation	kapasitas aliran berkurang	Pressure yang dihasilkan berkurang	tidak ada	Visual check	Pembersihan suction line			5	6	6	180
			Kotoran dan karat												
			c. misalignment pompa & gear box	Normal operation	getaran pada pompa	tidak ada	tidak ada		Readjusment			5	4	6	120
			flexible flange rusak												

Identification Number	Item Name	Function	Failure Modes and Causes	Mission Phase / Operational Mode	Failure Effects			Failure Detection Method	Compensating Provisions	Severity	Remarks	Risk Priority Number			
					Local Effects (to the component)	Next Higher Effects (to sub-system)	End Effects (to the system)					Sev.	Occ.	Det.	RPN
2.1.1	10 mm filter	Menyaring fluida yang kembali ke reservoir tank	Clog (tersumbat)	Normal operation	Aliran fluida terganggu	tidak ada	tidak ada	Running hour record	ganti filter	Cat. IV	Mnr A	3	4	3	36
			partikel pengotor pada fluida												
			Packing pada filter rusak		Kebocoran pada filter	Tidak ada	Tidak ada	visual check	Penggantian filter						
			Umur peralatan												
2.1.1	LAL	Memberikan tanda berupa suara pada saat terjadi kelebihan cairan dalam tanki	FTS. Sensor rusak	Normal operation	Kekurangan dalam reservoir tank tidak terdeteksi	Low pressure <200 bar	Thruster tidak bisa beroperasi	audible warning device	Memperbaiki sensor pada alarm, mengganti jika perlu	Cat. IV	Minor A	2	3	2	12

Identification Number	Item Name	Function	Failure Modes and Causes	Mission Phase / Operational Mode	Failure Effects			Failure Detection Method	Compensating Provisions	Severity	Remarks	Risk Priority Number			
					Local Effects (to the component)	Next Higher Effects (to sub-system)	End Effects (to the system)					Sev.	Occ.	Det.	RPN
2.3.2	bow thruster	Menghasilkan thrust sebesar min. 75 HP pada kondisi full load	b. PTO gear pump breakdown	Normal operation	Bow thruster tidak beroperasi	Subsistem tidak bekerja	Secara keseluruhan sistem gagal		b. memperbaiki pompa			6	4	4	96
			c. clutch tidak terhubung	Normal operation	Bow thruster tidak beroperasi	Subsistem tidak bekerja	Secara keseluruhan sistem gagal		memeriksa sumber tegangan			4	3	4	48
2.3.2	bow thruster	Menghasilkan thrust sebesar min. 75 HP pada kondisi full load	BRD a. Tidak ada minyak (fluida) dalam sistem	Normal operation	thruster tidak beroperasi	Sistem tidak bekerja	Tidak secara langsung		mengisi tanki hidrolik dengan minyak/fluida yang sesuai	Cat. III	Maj. A	6	4	5	120

Identification Number	Item Name	Function	Failure Modes and Causes	Mission Phase / Operational Mode	Failure Effects			Failure Detection Method	Compensating Provisions	Severity	Remarks	Risk Priority Number			
					Local Effects (to the component)	Next Higher Effects (to sub-system)	End Effects (to the system)					Sev.	Occ.	Det.	RPN
2.3.2	bow thruster	Menghasilkan thrust sebesar min. 75 HP pada kondisi full load	b. Komponen kotor/ usang	Normal operation	Torsi yang dihasilkan < 125Nm	tidak ada	tidak ada		Membersihkan tunnel thruster.			3	4	3	36
			OHE		Over-heating	tidak ada	tidak ada		mengeluarkan dan mengganti fluida	Cat. III	Maj. A	3	4	5	60
			a. fluida kotor/tidak sesuai		Over-heating	tidak ada	tidak ada		Mengurangi putaran engine			4	3	5	60
			b. Putaran pompa terlalu cepat	Normal operation		tidak ada	tidak ada		Member- sihkan / memper- baiki saluran pipa yang menuju bow thruster			4	4	5	80
			tahanan dalam saluran pipa			tidak ada	tidak ada								

Identifi-cation Number	Item Name	Function	Failure Modes and Causes	Mission Phase / Operational Mode	Failure Effects			Failure Detection Method	Compensating Provisions	Severity	Remarks	Risk Priority Number			
					Local Effects (to the component)	Next Higher Effects (to sub-system)	End Effects (to the system)					Sev.	Occ.	Det.	RPN
2.4.2	hydraulic line	sebagai jalur sirkulasi hidraulik	ELP	Normal operation	Fluida merem- bes	Tekanan berkurang	Thruster tidak beroperasi		Pembersihan sabungan yang mengalami kebocoran dan melakukan pengelasan ulang	Cat. III	Maj. A	3	3	3	27
			Karat		Joystick tidak dapat dioperasi- kan	Sub- sistem control tidak berope- rasi									

Identification Number	Item Name	Function	Failure Modes and Causes	Mission Phase / Operational Mode	Failure Effects			Failure Detection Method	Compensating Provisions	Severity	Remarks	Risk Priority Number			
					Local Effects (to the component)	Next Higher Effects (to sub-system)	End Effects (to the system)					Sev.	Occ.	Det.	RPN
3.1.3	Joystick	Mengatur kecepatan putaran thruster	Kerusakan pada silinder hydraulic	Normal operation	Komponen tidak beroperasi	Tidak bisa mengontrol gerakan bow thruster	Bow thruster tidak beroperasi		Memperbaiki kerusakan			4	2	4	32
		Mengontrol putaran bow thruster dari wheel house	Solenoid valve rusak						Mengganti solenoid valve			4	3	3	36
			Thruster tidak bergerak ketika tuas/lever dioperasikan	Normal operation	Komponen tidak beroperasi	Tidak bisa mengontrol gerakan bow thruster	Bow thruster tidak beroperasi		Mengganti joystick	Cat. III	Maj. A	4	3	2	24
			Joystick rusak												

Identifi-cation Number	Item Name	Function	Failure Modes and Causes	Mission Phase / Operational Mode	Failure Effects			Failure Detection Method	Compensating Provisions	Severity	Remarks	Risk Priority Number			
					Local Effects (to the component)	Next Higher Effects (to sub-system)	End Effects (to the system)					Sev.	Occ.	Det.	RPN
3.1.3	Joystick		Thruster bergerak pelan saat joystick dioperasikan	Normal operation	tidak ada	Tidak ada	Putaran rendah		Membersihkan kotoran	Cat. III	Maj. A	4	5	4	80
			Terdapat sampah di dalam tunnel thruster sehingga menambah beban thruster												

Identifi-cation Number	Item Name	Function	Failure Modes and Causes	Mission Phase / Operational Mode	Failure Effects			Failure Detection Method	Compensating Provisions	Severity	Remarks	Risk Priority Number			
					Local Effects (to the component)	Next Higher Effects (to sub-system)	End Effects (to the system)					Sev.	Occ.	Det.	RPN
3.4.1	Battery	sebagai sumber tenaga listrik solenoid valve	Battery rusak life time battery telah melewati spesifikasi umur yang ditentukan	Normal operation	Actuator tidak bekerja	sub-sistem tidak bekerja	thruster tidak berputar		mengganti battery	Cat. III	Maj. A	4	1	4	16

Identifi-cation Number	Item Name	Function	Failure Modes and Causes	Mission Phase / Operational Mode	Failure Effects			Failure Detection Method	Compensating Provisions	Severity	Remarks	Risk Priority Number			
					Local Effects (to the component)	Next Higher Effects (to sub-system)	End Effects (to the system)					Sev.	Occ.	Det.	RPN
4.4.1	Hydraulic Heat exchanger	Mendinginkan fluida/pelumas dalam pipa hidraulik hingga suhu maksimum <150° F atau 65° C	OHE fouling pada bagian tube	Normal operation	Heat transfer tidak maksimal	Suhu fluida tinggi	tidak ada		Pembersihan	Cat. III	Maj. A	4	4	4	64
		Mendinginkan hydraulic heat exchanger	OHE Fouling		Heat transfer tidak maksimal	cooling system tidak berfungsi	tidak ada		Pembersihan fouling	Cat. III	Mnr A	4	4	4	64

Lampiran Rekomendasi Perawatan

No.	Nama Komponen	Perawatan	Keterangan
1	PTO Gear Pump	Penggantian <i>filter</i>	setiap 100 jam
		Pelumasan <i>shaft</i>	pada jadwal perawatan yang telah ditentukan berdasarkan <i>minimum reliability</i>
		Pemeriksaan rutin	
		Penggantian <i>flange</i>	
		Penggantian <i>seal</i> pada roda gigi, seal luar, dan shaft pompa	
		Pembersihan <i>suction line</i>	
2	Bow thruster	Mengisi tanki hidraulik dengan fluida yang sesuai	pada jadwal perawatan yang telah ditentukan berdasarkan <i>minimum reliability</i>
		melakukan pelumasan	
		memeriksa ada tidaknya sampah pada tunnel thruster	
		membersihkan saluran pipa yang mengalirkan fluida menuju thruster	
		melakukan adjustment, penggantian, ataupun perbaikan jika ada relief valve yang rusak	
		Pengecatan ulang pada tunnel	

No.	Nama Komponen	Perawatan	Keterangan
3	Solenoid valve	Melakukan pembersihan	pada jadwal perawatan yang telah ditentukan berdasarkan <i>minimum reliability</i>
		mengganti pegas secara rutin	
		mengganti screw	
		mengganti o-ring	
		mengganti plunger	
4	Joystick	mengecek tegangan baterai	pada minimum reliability
		mengecek aliran pelumas	
		mengganti joystick pada saat sandar	
5	Hydraulic Heat exchanger	membersihkan fouling	
		memeriksa tekanan	
6	Central cooler	Bersihkan lubang pipa Pendingin Minyak Lumas & Tes tekanannya	
		Bersihkan tube pipaair laut dan tube pipa air tawar & Tes tekanannya	
		Mengganti zing anoda pada bagian cover sisi air laut	
		Bersihkan sisi pendindingin dengan karbon remover	

Lampiran Perhitungan Biaya Perawatan dan Perbaikan *Power Take Off Pump* pada Skenario Keandalan 0,9 – 0,01 dengan simulasi tiga tahun

Tabel Simulasi Biaya Perawatan PTO

R	PTO Gear Pump l = 0,00026943						A
	MTTF	Cm 10 ³ (Rp)	Cd ₀ 10 ³ (Rp)	Cd ₁ .10 ³ (Rp)	Cd ₁ .10 ³ (Rp)	CT	
0,97	162	36.400	-	-	18.022	54.422.247	0,881999
0,96	162	36.400	-	-	18.022	54.422.247	0,910122
0,95	191	34.700	-	-	18.022	52.722.247	0,923433
0,9	399,2	30.100	-	-	18.020	48.120.148	0,963400
0,85	619	28.600	-	-	18.022	46.622.247	0,974788
0,8	837	27.800	-	-	18.021	45.821.198	0,981247
0,7	1431	29.400	-	-	18.022	47.422.247	0,983012
0,6	1908	26.700	-	-	18.021	44.721.198	0,985101
0,5	2862	26.400	-	-	18.022	44.422.247	0,988944
0,45	3434	26.300	-	-	18.022	44.322.257	0,995363
0,4	3434	26.300	-	-	18.022	44.322.247	0,995363

R	PTO Gear Pump l = 0,00026943						A
	MTTF	$C_m 10^3$ (Rp)	$C_{d0} 10^3$ (Rp)	$C_{d1} \cdot 10^3$ (Rp)	$C_{d1} \cdot 10^3$ (Rp)	CT	
0,35	4293	26.200	-	-	18.022	44.222.247	0,995930
0,3	5724	26.100	3.750	4.200	17.000	51.050.000	0,996287
0,2	8587	26.000	5.000	5.600	20.000	56.600.000	0,997320
0,1	8587	26.000	5.000	5.600	20.000	56.600.000	0,998140
0,01	17174	12.900	23.732,	5.600	20.000	62.232.500	0,999102

Lampiran Perhitungan Biaya Perawatan dan Perbaikan pada *Hydraulic Heat Exchanger* dengan Skenario Keandalan 0,99 – 0,39 dengan Simulasi Sepuluh Tahun

Min Rel	Heat Exchanger $\lambda = 0,0000174$						Availability
	MTTF (hr)	C _m (Rp)	C _{d1} (Rp)	C _{d2} (Rp)	C _d = C _{d1} + C _{d2} (Rp)	Total Cost (CT)	
0,99	584	6.860.000	1.237.500	2.475.000	3.712.500	10.572.500	0,960571
0,98	1169	3.430.000	1.250.000	2.500.000	3.750.000	7.180.000	0,980285
0,97	1790	2.240.000	1.237.500	2.475.000	3.712.500	5.952.500	0,985230
0,96	2387	1.680.000	1.250.000	2.500.000	3.750.000	5.430.000	0,990043
0,95	3015	1.330.000	1.250.000	2.500.000	3.750.000	5.080.000	0,992104
0,94	3580	1.120.000	1.275.000	2.550.000	3.825.000	4.945.000	0,993341
0,93	4774	910.000	1.225.000	2.450.000	3.675.000	4.585.000	0,994997
0,92	5327	840.000	1.200.000	2.400.000	3.600.000	4.440.000	0,995827
0,91	5728	770.000	1.250.000	2.700.000	3.950.000	4.720.000	0,995828
0,9	7159	630.000	1.250.000	2.500.000	3.750.000	4.380.000	0,996244
0,85	9341	420.000	1.312.500	2.625.000	3.937.500	4.357.500	0,997943
0,8	12835	280.000	1.250.000	2.500.000	3.750.000	4.030.000	0,998370

Min Rel	Heat Exchanger $\lambda = 0,0000174$						Availability
	MTTF (hr)	C _m (Rp)	C _{d1} (Rp)	C _{d2} (Rp)	C _d = C _{d1} + C _{d2} (Rp)	Total Cost (CT)	
0,75	19098	210.000	1.250.000	2.500.000	3.750.000	3.960.000	0,998745
0,71	19685	140.000	1.087.500	2.175.000	3.262.500	3.402.500	0,999163
0,7	20500	140.000	1.125.000	2.250.000	3.375.000	3.515.000	0,999162
0,69	21330	140.000	1.162.500	2.325.000	3.487.500	3.627.500	0,999163
0,65	24759	140.000	1.312.500	2.625.000	3.937.500	4.077.500	0,999163
0,61	28648	140.000	1.462.500	2.925.000	4.387.500	4.527.500	0,999163
0,6	29363	70.000	1.000.000	2.000.000	3.000.000	3.070.000	0,999581
0,59	30325	700.000	1.025.000	2.050.000	3.075.000	3.775.000	0,999581
0,55	34560	70.000	1.125.000	2.250.000	3.375.000	3.445.000	0,999581
0,5	37458	70.000	1.250.000	2.500.000	3.750.000	3.820.000	0,999581
0,45	41404	70.000	1.375.000	2.750.000	4.125.000	4.195.000	0,999581
0,4	52662	70.000	1.500.000	3.000.000	4.500.000	4.570.000	0,999581
0,39	54116	70.000	1.525.000	3.005.000	4.530.000	4.600.000	0,999581

Lampiran Perhitungan Biaya Perawatan dan Perbaikan pada *Central Cooler* dengan Skenario Keandalan 0,99 – 0,3 dengan Simulasi Sepuluh Tahun

Min Rel	Central cooler l = 0,00002 - 10 tahun						Availability
	MTTF (hr)	C _m (Rp)	C _{d1} (Rp)	C _{d2} (Fuel) (Rp)	Cd3 (repair) (Rp)	CT	
0,99	453	25.200.000	1.587.500	1.778.000	2.810.000	31.375.500	0,951766
0,95	2291	4.800.000	1.562.500	1.750.000	3.750.000	11.862.500	0,987688
0,9	4707	4.400.000	1.625.000	1.820.000	3.900.000	9.745.000	0,995202
0,88	5710	3.740.000	1.800.000	2.016.000	4.320.000	11.876.000	0,993067
0,85	7237	1.400.000	1.500.000	1.680.000	3.600.000	8.180.000	0,996890
0,8	9967,8	1.000.000	1.500.000	1.680.000	3.600.000	7.780.000	0,997995
0,75	12850,3	800.000	1.562.500	1.750.000	3.750.000	7.862.500	0,997596
0,7	15926	600.000	1.500.000	1.680.000	3.600.000	7.380.000	0,998596
0,65	19237	400.000	1.312.500	1.470.000	3.150.000	6.332.500	0,999190
0,6	22812,5	400.000	1.500.000	1.680.000	3.600.000	7.180.000	0,999197
0,55	26692	400.000	1.687.500	1.890.000	4.050.000	8.027.500	0,999197

Min Rel	Central cooler 1 = 0,00002 - 10 tahun						Availability
	MTTF (hr)	C _m (Rp)	C _{d1} (Rp)	C _{d2} (Rp)	C _d = C _{d1} + C _{d2} (Rp)	MTTF (hr)	
0,5	30946	200.000	1.250.000	1.400.000	3.000.000	5.850.000	0,999397
0,45	35648	200.000	1.375.000	1.540.000	3.300.000	6.415.000	0,999598
0,4	40907	200.000	1.500.000	1.680.000	3.600.000	6.980.000	0,999598
0,35	46869	200.000	1.625.000	1.820.000	3.900.000	7.545.000	0,999598
0,3	53750	200.000	5.250.000	5.880.000	4.200.000	15.530.000	0,999598

Lampiran Perhitungan Biaya Perawatan dan Perbaikan pada *Joystick* dengan Skenario Keandalan 0,99 – 0,3 dengan Simulasi Sepuluh Tahun

Min Rel	Joystick 1 = 0,00014 - 10 tahun						Availability
	MTTF	Cm	Cd	CC Q	Cr	Total Cost	
0,95	3540	1.120.000	1.062.500	8.579.781	9.642.281	10.762.281	0,995829
0,9	7272	490.000	1.000.000	8.475.088	9.475.088	9.965.088	0,952020
0,85	11214	350.000	1.125.000	9.084.474	10.209.474	10.559.474	0,982500
0,8	15394	210.000	1.000.000	8.475.088	9.475.088	9.685.088	0,997795
0,75	19842	140.000	937.500	7.570.395	8.507.895	8.647.895	0,999477
0,7	24600	140.000	1.128.933	9.116.234	10.245.167	10.385.167	0,999163
0,5	29711	70.000	875.000	7.065.702	7.940.702	8.010.702	0,999738
0,6	35231	70.000	1.000.000	8.075.088	9.075.088	9.145.088	0,999738
0,55	41231	70.000	1.125.000	9.084.474	10.209.474	10.279.474	0,999738
0,5	44805	70.000	1.250.000	10.093.860	11.343.860	11.413.860	0,999738
0,49	49198	70.000	1.275.000	10.295.737	11.570.737	11.640.737	0,999738
0,45	55071	70.000	1.375.000	11.103.246	12.478.246	12.548.246	0,999810

Lampiran Perhitungan Biaya Perbaikan pada *Solenoid Valve* dengan Simulasi Dua Puluh Tahun

Date	Time	TTF (jam)	TTR	Action taken	A	Cd	Cf	CT
18/06/2016	2:00 - 7:00	8370	5	replace	1,00000	260.399	750.000	1.010.399
05/12/2017	3:00 - 8:00	8376	5	replace	0,99970	520.833	1.500.000	2.020.833
23/05/2019	20:00 - 0:00	8381	4	replace	0,99940	781.250	2.250.000	3.031.250
08/12/2020	3:00 - 8:00	8381	5	replace	0,99940	1.041.667	3.000.000	4.041.667
27/04/2022	3:00 - 7:00	8370	4	replace	0,99940	1.302.083	3.750.000	5.052.083
13/10/2023	3:00 - 8:00	8370	5	replace	0,99940	1.562.481	4.500.000	6.062.481
31/03/2025	1:00 - 6:00	8378	5	replace	0,99940	1.822.899	5.250.000	7.072.899
16/09/2026	2:00 - 7:00	8368	5	replace	0,99948	1.822.899	6.000.000	7.822.899
04/03/2028	2:00 - 7:00	8378	5	replace	0,99940	2.343.750	6.750.000	9.093.750
21/08/2029	12:00 - 17:00	8378	5	replace	0,99940	2.504.166	7.500.000	10.004.166
06/02/2031	3:00 - 8:00	8364	5	replace	0,99946	2.604.166	7.500.000	10.104.166
25/07/1932	2:00 - 7:00	8387	5	replace	0,99940	3.125.000	9.000.000	12.125.000
11/01/2034	2:00 - 7:00	8387	5	replace	0,99940	3.385.416	9.750.000	13.135.416

Lampiran Perhitungan Biaya Perawatan dan Perbaikan pada *Bow Thruster* dengan Indeks Keandalan 0,8 – 0,01 dengan Simulasi Sepuluh Tahun

R	Bow thruster $\lambda = 0,00090$ - 5 tahun							A
	MTTF	Cm	Cd	Cf	CC Q	Cr	Total Cost	
0,95000	545	193.000.000	-	35.225.084	63.089.700	98.314.784	291.314.784	0,906933
0,90000	1165	97.000.000	-	37.800.000	67.585.907	105.385.907	202.385.907	0,954114
0,85000	1799	63.000.000	-	37.925.750	70.986.000	108.911.750	171.911.750	0,969827
0,80000	2473	46.000.000	-	38.053.846	80.500.000	118.553.846	164.553.846	0,977861
0,78000	2736	41.000.000	-	38.034.113	88.769.960	126.804.073	167.804.073	0,943749
0,75000	3254	35.000.000		38.095.652	97.809.700	135.905.352	170.905.352	0,983084
0,70000	3931	29.000.000	-	38.132.775	100.769.009	138.901.784	167.901.784	0,959749
0,65000	4755	24.000.000	-	33.600.000	107.008.087	140.608.087	164.608.087	0,991659
0,60000	5709	20.000.000	-	28.000.000	110.000.000	138.000.000	158.000.000	0,979870
0,50000	7630	14.000.000	17.500.000	39.200.000	125.076.900	181.776.900	195.776.900	0,982696
0,45000	8786	13.000.000	16.250.000	36.400.000	123.485.020	176.135.020	189.135.020	0,993671

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Tulungagung tanggal 30 September 1991. Penulis menempuh pendidikan di SDN Ngunut 09, SMPN 01 Ngunut, SMAN 01 Kedungwaru, dan melanjutkan kuliah di Poltek Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) program studi D3 Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal. Lulus pada bulan September 2012, penulis sempat bekerja di PT. PANN (Persero) Tbk. sejak bulan Juni – Desember tahun 2012, Divisi Ship Management. Kemudian, penulis bekerja di KCT Group – PT. Ekalya Purnamasari bagian Technical & Commercial dan bertanggung jawab terhadap kegiatan komersial, *tender* dan *legal agreement* dari bulan Januari 2013 – Januari 2015. Penulis pernah melakukan *self-assessment* untuk audit Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN – Jasa) proyek sewa kapal antara PT. Ekalya Purnamasari dengan Total E&P Indonesia, Genting Oil Kasuri Pte.Ltd. dan PT. Pertamina Hulu Energi WMO. Sejak bulan Februari 2014, penulis melanjutkan pendidikan sarjana di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis menempuh studi selama 4 semester dengan bidang penelitian *Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)*.

Lintang Maharani
lintangmaharani4@gmail.com